

Investigação da corrosividade sobre o alumínio das redes aéreas de distribuição de energia elétrica da região metropolitana de Salvador–BA, utilizando função dose resposta

Kelly J. C. Brambilla, Kleber F. Portella, Mário S. Cabussú, Daílton P. Cerqueira, Paulo C. Inone;
Sérgio L. Henke; Rogério N. Salles

Resumo – Nesta pesquisa foi proposto abordar diversos aspectos para a determinação da taxa de corrosividade e de deterioração do alumínio das redes aéreas de distribuição de energia elétrica (RDE) da região metropolitana de Salvador-BA, RMS. Foi desenvolvida uma metodologia baseada na implantação de 8 estações de corrosão atmosférica, ECA's, abrangendo diferentes ambientes corrosivos onde foram monitorados, parâmetros meteorológicos e a taxa de deposição dos principais poluentes atmosféricos (íons cloreto, sulfato e material particulado). Na função dose resposta para o alumínio, foram obtidos bons coeficientes de correlação, o que permitiu obter uma equação para a predição da taxa de corrosão para as ECA's estudadas. De acordo com o estudo de profundidade dos pites, concluiu-se que o tempo para corroer pelo menos 75% (ou 1,5 mm) de um tento de 2 mm o qual forma os cabos da RD, foi de 30 anos.

Palavras-chave – alumínio, corrosão atmosférica; função dose-resposta, redes de distribuição de energia e vida útil.

I. INTRODUÇÃO

A extensão da costa brasileira colabora positivamente com a degradação dos materiais pelas condições de temperatura média e umidade relativa bem mais elevada do que nas ou-

tras regiões, principalmente, se forem consideradas as áreas litorâneas do norte e nordeste do Brasil [1].

De acordo com Köppen, 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 um município com cerca de 2.466 h anuais de sol, ventos anuais com velocidade média de 2,2 m/s, temperatura média anual de 25 °C e com umidade média anual da ordem de 81%. Estas condições climáticas somadas a poluição industrial são extremamente prejudiciais aos materiais de engenharia, propiciando a corrosão ou degradação dos materiais metálicos, por possuir também um tempo de superfície úmida (t) elevado (> 4.000 h/ano), neste caso, classificado pela NBR 14643/01 [2], como t_4 , ou seja, de alta corrosividade ambiental (C_4) [2,3].

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 [3,4]. Com base nestas informações foi criado o projeto intitulado Mapeamento Ambiental para a determinação do grau de corrosividade e de degradação de materiais das redes aéreas de distribuição de energia elétrica com soluções corretivas, código ANEEL 0047-022/2007, o qual foi executado pelo Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC) e financiado pela Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia (COELBA).

A pesquisa foi concluída e abordou diversos aspectos para a determinação da taxa de corrosividade e de deterioração do alumínio da rede aérea de distribuição de energia elétrica (RD) da região metropolitana de Salvador-BA, RMS. Para tanto, foi desenvolvida uma metodologia baseada na implantação de oito estações de corrosão atmosférica (ECAs) abrangendo diferentes ambientes corrosivos onde foram monitorados, mensalmente, parâmetros meteorológicos e a taxa de deposição dos principais poluentes atmosféricos (íons cloreto, sulfato, medida de severidade da poluição por meio de calibradores direcionais de poeira (DDDGs), a fim de se obter subsídios para a classificação da

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica regulado pela ANEEL e consta dos Anais do VI Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica (VI CITENEL), realizado em Fortaleza/CE, no período de 17 a 19 de agosto de 2011.

Às instituições e profissionais da COELBA, ANEEL, CNPq e LACTEC pelos apoios financeiros e de infraestrutura para o desenvolvimento desta pesquisa.

Kelly Jacqueline Campos Brambilla - Aluno de Mestrado – Programa de Pós Graduação em Engenharia – UFPR;

Kleber Franke Portella – Pesquisador Doutor – LACTEC;

Mário Seixas Cabussú – Gerente de pesquisa e Desenvolvimento – COELBA;

Daílton Pedreira Cerqueira – Coordenador do Setor de Expansão de Redes – COELBA;

Paulo Cesar Inone – Pesquisador Doutor – LACTEC;

Sérgio Luiz Henke – Professor Doutor da UFPR/Departamento de Mecânica – UFPR;

Rogério Nascimento Salles – Coordenador de RDE - COELBA

corrosividade atmosférica. Nestas ECA's foram instalados, além dos módulos de coleta de poluentes, painéis de intemperismo natural com corpos de prova dos materiais metálicos alumínio em formas de placas, sendo que estes metais são os mais utilizados no setor de distribuição e transmissão de energia elétrica local.

Foram desenvolvidos modelos de funções dose resposta, para a interpretação e predição da vida útil deste metal expostos nas ECA's.

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Corrosão

A corrosão atmosférica é um dos processos de degradação 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 e esta ocorre mesmo para uma umidade relativa baixa, como 60% [5]. A velocidade de corrosão depende fortemente da umidade relativa do ar e dos constituintes da atmosfera [6].

Tratamento estatístico dos dados experimentais de corrosividade dos materiais metálicos.

Função dose resposta

A função dose resposta é de extrema importância para o desenvolvimento de sistemas de classificação de corrosividade de ambientes, para mapeamento das áreas com maior risco de corrosão, e para o cálculo do custo dos danos causados pela deterioração dos materiais.

Diversos autores vêm corroborando que o comportamento do fenômeno de corrosão atmosférica dos metais é governado pela Equação de Pourbaix, transcrita na Equação 1:

$$P = K.t^n \quad (1)$$

Onde: (P) representa a perda de espessura média do metal em μm ou perda de massa (g); (t) é o tempo de exposição em meses ou anos; (K) e (n) são as constantes calculadas pela linearização logarítmica da Equação 1. A constante (K) representa a corrosão em μm para o primeiro ano; e, a constante (n) sugere o efeito passivador do ambiente, o qual depende diretamente do metal, das condições físico-químicas da atmosfera e de condições de exposição.

Essas constantes são determinadas empiricamente a partir da extrapolação bilogarítmica dos dados experimentais de corrosão (μm) ou (g) vs tempo (meses) conforme a Equação 2.

$$\log P = \log K + n \log t \quad (2)$$

A representação em coordenadas log-log da Equação (1) evidenciada pela Equação (2) é uma linha reta. Por meio da regressão linear, utilizando-se o método dos mínimos quadrados calculam-se as constantes K (intercepto) e n (inclinação) da reta.

É possível, também, determinar a constante K com base nos teores de poluentes atmosféricos (Cl^- e SO_2) e aerossóis (material particulado, P.S.) por meio da regressão linear múltipla que resulta em uma equação do tipo da apresentada na Equação 3.

$$K = a_0 + a_1.[\text{Cl}^-] + a_2.[\text{SO}_2] + a_3.[\text{PS}] \quad (3)$$

Onde os coeficientes ($a_0 - a_3$) são as constantes calculadas; (K) é a corrosão anual em $\text{g}/\text{m}^2\text{a}$; $[\text{Cl}^-]$ é a média anual da taxa de deposição de cloretos em $\text{mg}/\text{m}^2.\text{dia}$; $[\text{SO}_2]$ é a média anual da taxa de sulfatação total na atmosfera e [P.S.] é a média anual do teor de partículas sedimentáveis em $\text{mg}/\text{m}^2.30\text{dias}$.

Com esse tratamento obtém-se a função dose resposta que exprime a perda de espessura média ou a perda de massa média dos metais expostos em cada ECA natural conforme descrito na Equação 4.

$$C = K.t^n \quad (4)$$

Onde: (C) é a predição da perda de massa em g para um determinado período de tempo (t) em anos ou meses.

III. EXPERIMENTAL

Regiões de monitoramento

Para o estudo dos efeitos da corrosão atmosférica sobre alumínio, foram instaladas 8 ECA's 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. Estas estações foram montadas em subestações de distribuição de energia (SE) pertencentes à Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia – COELBA.

A localização das ECA's, o tempo de exposição dos corpos de prova à atmosfera, assim como as respectivas distâncias de cada ECA ao mar podem ser vistos na Tabela I.

Tabela I. Módulos de coleta instalados na Bahia.

ECA	Localização	Tempo de exposição	
		Início	Fim
1	SE Cajazeiras (CJD)	24/9/2008	5/9/2009
2	SE Comp. Industrial (CIU)	24/9/2008	5/9/2009
3	SE Paripe (PPE)	24/9/2008	5/9/2009
4	SE Pituba (PIT)	24/9/2008	4/9/2009
5	SE Sauípe (SPS)	24/9/2008	2/9/2009
6	SE Camaçari (CMU)	24/9/2008	2/9/2009
7	SE Amaralina (AML)	24/9/2008	4/9/2009

Determinação do teor de cloretos (Cl⁻) na atmosfera.

A determinação do teor de cloretos existente na atmosfera foi realizada conforme a norma ABNT NBR 6211 [7], que prescreve o método da vela úmida para determinação do teor de cloretos inorgânicos (Cl⁻) por meio de análise volumétrica (Figura 1).



Figura 1. Coletor de cloretos, via método da vela úmida, ABNT NBR 6211 [7], instalado no Complexo Sauípe.

O princípio do método consiste na adsorção do íon cloreto na superfície de uma gaze umedecida e sua dissolução em água contendo glicerol. O íon cloreto (Cl⁻) resultante é titulado com solução diluída de nitrato de mercúrio em presença de indicador misto difenilcarbazona-azul de bromofenol.

O ponto final da reação ocorre quando da formação do complexo mercúrio-difenilcarbazona, de cor azul-violeta, em pH entre 2,3 e 2,8.

Os resultados são expressos em mgCl⁻/m².dia, especificando-se, sempre, o início e o término do ensaio, bem como o local de exposição.

A fórmula para o cálculo do teor de cloreto, é dada pela Equação 5.

$$Cl^{-} (mg / m^2 . dia) = \frac{2 \times (A - B) \times M \times 35,5 \times V_T}{V_a \times S \times t} \quad \dots(5)$$

Onde:

A= volume gasto de solução titulante com a alíquota, em ml;

B= volume gasto de solução titulante com o branco, em ml;

M= molaridade da solução titulante, com fator de correção;

VT= volume total da amostra após a diluição, em ml;

V_a= volume de alíquota, em ml;

S= área da gaze exposta, em m²; e

T= tempo de exposição, em dias.

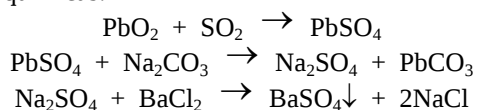
Determinação da taxa de sulfatação total na atmosfera

Foi realizada conforme a norma ABNT NBR 6921[8], que prescreve o método para determinação gravimétrica da taxa de sulfatação total na atmosfera, obtida pela oxidação ou fixação, em uma superfície reativa, de compostos de enxofre como SO₂, SO₃, H₂S e SO₄²⁻. Na Figura 2, encontra-se mostrado um coletor de sulfato instalado na SE Sauípe.



Figura 2. Coletor de sulfatos, via método da vela de dióxido de enxofre, instalado na SE Sauípe.

Depois de um determinado período de tempo de exposição ao ambiente atmosférico, usualmente 30 dias, em local protegido da radiação solar e chuvas, é realizada a extração do sulfato em laboratório, ocorrendo as seguintes reações químicas:



O sulfato de chumbo (PbSO_4), insolúvel, resultante da reação na atmosfera é solubilizado com carbonato de sódio, em solução, sendo re-precipitado a quente, em meio ácido, com solução de cloreto de bário.

A massa de sulfato de bário assim obtida é utilizada no cálculo da taxa de sulfatação devendo ser referida à unidade de tempo de exposição e à unidade de área exposta, expressa em $\text{mg/m}^2 \cdot \text{dia}$ de dióxido de enxofre (SO_2).

Para o cálculo do teor de sulfatos foi utilizada a Equação 6.

$$\text{SO}_3 (\text{mg}/100\text{cm}^2 \cdot \text{dia}) = \frac{(A - B) \times 0,343 \times 100}{S \times T} \quad (6)$$

Onde:

A: massa de BaSO_4 obtida na vela exposta, em mg;

B: massa de BaSO_4 obtida na vela em branco, em mg;

S: área da gaze recoberta com a pasta de PbO_2 , em cm^2 ;

T: tempo de exposição, em dias.

Medida de severidade do grau de poluição por meio de calibradores direcionais de poeira (DDDGs).

Neste método, quatro calibradores de poeira, cada um direcionado para um ponto cardeal, conforme mostrado na Figura 3, foram usados para coletar a poluição da atmosfera, ou seja, material particulado ou partículas sedimentáveis (PS).

O método da coleta por meio de coletores de pó direcionais (DDDg - Directional Dust Deposit Gauge), inicialmente desenvolvido para a quantificação de partículas de poeira no ar, tem sido aplicado com sucesso por pesquisadores do Nirro Research Institute (Irã) [9] e por pesquisadores da ESKOM (África do Sul) [10] para avaliação da agressividade ambiental.

Neste método quatro coletores tubulares, cada um direcionado para um ponto cardeal, são usados para coletar material em suspensão no ar, para posterior quantificação deste material, conforme foto ilustrativa mostrada na Figura 3.

O método é de simples aplicação, de baixo custo e livre de manutenção. Os resultados das medidas utilizando DDDGs têm sido correlacionados com os métodos tradicionais de determinação da classe de agressividade ambiental (ESDD e NSDD), viabilizando seu uso como ferramenta

para seleção de materiais da rede de distribuição elétrica [9, 10].

O princípio do método para a sua determinação foi obtido pela medida da condutividade da solução resultante onde estes resultados podem ser expressos em $\mu\text{S}/\text{cm}$.



Figura 3. Coletor de DDDG instalado na SE Porto Seguro, BA.

Estações de Intemperismo Natural

A implantação da estação de intemperismo natural teve como objetivo avaliar a agressividade dos contaminantes atmosféricos, aliada às condições climáticas locais, sobre o desempenho dos corpos metálicos (CP's) semelhantes às estruturas metálicas usadas na região. Esta estação foi situada em uma área capaz 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.

As placas foram instaladas conforme norma ABNT NBR 6209 [11].

Na Figura 4 é possível visualizar o painel de Intemperismo Natural da Subestação de Camaçari-BA.



Figura 4. Painel de Intemperismo Natural da Subestação de Camaçari-BA.

As placas foram devidamente cortadas, desengraxadas com solvente (acetona), preparadas por limpeza química, pesadas e tiveram sua área determinada conforme a norma ABNT NBR 6210 [12]. Após o preparo das placas, estas foram codificadas por anilhas contendo letras e números.

Os CP's foram retirados com periodicidade trimestral. Após seus períodos de exposição e de 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 o material, conforme normas ABNT NBR 6210 e ASTM G1-90 [13].

A massa final dos CP's 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.

Devido a 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 [11], como está mostrado na Equação 5.

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

Onde: (K) é uma constante que é determinada pela unidade da taxa de corrosão; (M) é a perda de massa em g; (S) é a área do corpo de prova em cm², (t) é o tempo de exposição em horas e (ρ) é a massa específica em g/cm³.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram levantados dados referentes a sete ECA's localizadas em distintas áreas na RMS, 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 II, encontram-se listados os módulos e o período de coleta de dados para cada ECA.

Tabela II. Módulos de coleta instalados na região de Salvador-BA.

ECA's	Período de instalação		Localização
	Início	Fim	
1	24/9/2008	18/9/2009	CJD
2	24/9/2008	18/9/2009	CIU
3	25/9/2008	19/9/2009	PPE
4	25/9/2008	19/9/2009	PIT
5	26/9/2008	20/9/2009	SPS
6	29/9/2008	20/9/2009	CMU
7	30/9/2008	20/9/2009	AML

Nota: Conteúdo nas ECAs: (1) coletor de cloretos; (2) coletor de sulfatos; (3) DDDG; (4) painel de intemperismo natural com placas metálicas.

Taxa de cloretos totais na atmosfera das ECA's instaladas na Bahia

Na Tabela III, está listada a concentração média anual de cloretos obtida no período de setembro de 2008 a setembro de 2009.

Tabela III. Taxa média de cloretos (mg Cl⁻/m².dia) referente ao período de setembro de 2008 a setembro de 2009.

Nº	ECA	Média (mg Cl ⁻ /m ² .dia)
1	CJD	13
2	CIU	6
3	PPE	8
4	PIT	78
5	SPS	9
6	CMU	8
7	AML	274

Taxa de dióxido de enxofre total na atmosfera das ECA's instaladas na Bahia

A taxa de deposição anual de SO₂, para cada ECA, está apresentada na Tabela IV no período citado anteriormente.

Tabela IV. Taxa média de dióxido de enxofre (mg SO₂/m².dia) referente ao período de setembro de 2008 a setembro de 2009.

Nº	ECA	Média (mg SO ₂ /m ² .dia)
1	CJD	27
2	CIU	36
3	PPE	26
4	PIT	28
5	SPS	26
6	CMU	34
7	AML	33

Medida de severidade do grau de poluição por meio de calibradores direcionais de poeira (DDGs)

As condutividades das soluções contendo o material particulado (PS) coletadas nas ECA's instaladas na Bahia estão listadas na Tabela V.

Tabela V. Taxa média de condutividade (µS/cm) referente ao período de setembro de 2008 a setembro de 2009.

Nº	ECA	Média (µS/cm)
1	CJD	81
2	CIU	66
3	PPE	55
4	PIT	106
5	SPS	48
6	CMU	81
7	AML	369

Modelo matemático baseado em funções dose-resposta

No modelo matemático foi aplicado bilogarítmico aos dados experimentais de corrosão (g/m².dia), em função dos 12 meses de exposição. Dos resultados foram obtidas, as constantes K e n, ou seja, a corrosividade inicial e a ação passivadora da atmosfera, respectivamente, conforme apresentado na Tabela VI, em conjunto com os dados experimentais, para o mesmo período de análise.

A constante K foi determinada em função dos teores de poluentes atmosféricos para cada ECA por meio do tratamento estatístico por correlação linear múltipla. Os resultados obtidos forneceram um novo K', conforme Tabela VII.

Tabela VI. Valores da corrosividade (K) para 12 meses nas ECA's 1 a 7. Constante "n" que exprime o efeito passivador do ambiente, e dados experimentais da perda de massa.

ECA	k	n	r	P(12)/g Previsto	Experimental (g)	Desvio Pa- drão
1	0,135	0,2105	0,8322	0,23	0,25	0,02
2	0,113	0,3150	0,9532	0,25	0,24	0,00
3	0,141	0,1159	0,9019	0,23	0,23	0,03
4	0,146	0,1558	0,8684	0,21	0,23	0,01
5	0,144	0,0737	0,9849	0,20	0,17	0,00
6	0,107	0,3216	0,9967	0,24	0,24	0,00
7	0,110	0,3731	0,9387	0,28	0,30	0,02

Tabela VII Tratamento dos dados de poluentes atmosféricos por correlação linear múltipla para o alumínio.

ECA	LOCAL	P(12) calculado	[K'₁]	[K'₂]
1	CJD	0,23	0,23	0,22
2	CIU	0,25	0,23	0,23
3	PPE	0,23	0,23	0,21
4	PIT	0,21	0,21	0,23
5	SPS	0,20	0,20	0,21
6	CMU	0,24	0,24	0,23
7	AML	0,28	0,28	0,27
Correlação			0,9	0,8

Analisando-se a Tabela VII e os coeficientes de correlação gerados entre a perda de massa obtida experimentalmente e a calculada pela função dose-resposta para os diferentes metais, utilizando o K₁ e K₂, notou-se que a expressão de K' com melhor correlação (r) foi o K₁ demonstrado nas Equações (6 e 7) e, por isso, foi utilizada na predição da perda de massa do alumínio em função do tempo para as ECA's 1 a 7.

$$K_1 = 0,13353 - 0,0007 [Cl^-] + 0,0013 [SO_2] + 0,0008 [PS] \quad (6)$$

$$C = K' \cdot t^n, \text{Então,}$$

$$C = (0,13353 - 0,0007 [Cl^-] + 0,0013 [SO_2] + 0,0008 [PS]) \cdot t^n \quad (7)$$

O estudo da corrosão em placa de alumínio foi realizado pela medida da profundidade de pite, após sua exposição na ECA de AML por aproximadamente um ano.

O equipamento utilizado foi um banco metalográfico MM6.

Os pites encontrados tiveram profundidades entre 13 e 39 µm, em um ano de exposição. Já, em dois anos de exposição, como estudo complementar a este trabalho [14],

as suas profundidades num total de 28 pontos, foram de 25 a 56 μm . Na Figura 5, tem-se uma micrografia por microscopia óptica, identificando um pite na superfície de uma placa de alumínio da ECA de Amaralina em exposição atmosférica de 2 anos.

O efeito da profundidade deste pite sobre um dos acessórios de uma rede de distribuição de energia (RD), pode ser verificado neste exemplo: um cabo de força da RD tem por volta de 14 mm de diâmetro [15], conforme ilustrado esquematicamente na Figura 6.

O cabo geralmente tem 7 tentos, sendo que cada tento tem 2 mm de diâmetro. Se os pites formados em 1 ano estão tendo uma profundidade média de 39 μm , em 10 anos teriam 390 μm , ou seja, 0,39 mm $\approx$ 0,5 mm.

Desta forma, pode-se atribuir pela agressividade ambiental local, pela necessidade de manutenção da RD, contendo este tipo de material, em, no máximo, 30 anos, com a possibilidade de haver compromisso mecânico do cabo.



Figura 5. Micrografias por microscopia óptica, identificando pite na superfície de uma placa de alumínio da ECA AML com 2 anos de exposição atmosférica.

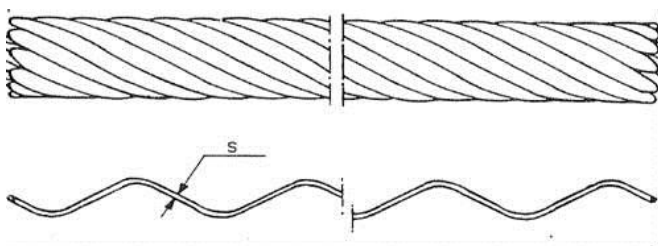


Figura 6. O desenho esquemático de um cabo de força com seus respectivos tentos [13].

V. CONCLUSÃO

Na função dose resposta, ou seja, no tratamento estatístico para a interpretação do fenômeno da corrosão atmosférica do alumínio, foram obtidos bons coeficientes de correlação, o que permitiu obter uma equação para a predição da perda de massa para as ECAs estudadas.

De acordo com o estudo de profundidade dos pites, concluiu-se que o tempo para corroer pelo menos 75% (ou 1,5 mm) de um tento de 2 mm o qual forma os cabos da RD, foi de 30 anos.

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. PORTELLA, K. F.; CABUSSÚ, M. S.; INONE, P. C., et al. **Mapeamento ambiental para a determinação do grau de corrosividade e de degradação de materiais das redes aéreas de distribuição de energia elétrica com soluções corretivas**. Projeto de pesquisa COELBA, LACTEC e ANEEL, 2010 (em andamento).
2. ABNT NBR 14643: *Corrosão Atmosférica – Classificação da Corrosividade de Atmosferas*, Rio de Janeiro, 2001, p. 11.
3. <http://www.emtursa.ba.gov.br/Template.aspxnivel=00010006&identidade=12>, acessada em Março de 2008; ABNT NBR 14643; Corrosão atmosférica, classificação da corrosividade de atmosferas, Rio de Janeiro, 2001.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6211: determinação de cloretos na atmosfera pelo método da vela úmida. Rio de Janeiro, 2001, 6 p.
8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6921: sulfatação total na atmosfera – determinação da taxa pelo método da vela de dióxido de chumbo. Rio de Janeiro, 2002, 7 p.
9. Shariati, M. R. et al. Providing the Pollution Map in South West Provinces of Iran Based on DDG Method. *IEEE Transmission and Distribution Conference & Exhibition: Asia and Pacific Dailan*, 2005.
10. Vosloo, W. L. et al. *Insulator Pollution Monitoring Program for Namibia*, 2007.
11. ABNT NBR 6209: *materiais metálicos não revestidos – ensaio não acelerado de corrosão atmosférica*. Rio de Janeiro, 1986.
12. 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.
13. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM G 1-90: Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens. 1990, 7 p.

14. JOURKOSKI A.; MEDEIROS B. L.; BARON O.; HENKE S. L.; PIAZZA F.; LACERDA. L. A. ; et al. Mapeamento ambiental para a determinação do grau de corrosividade e de degradação de materiais das redes aéreas de distribuição de energia elétrica com soluções corretivas. Relatório Final LACTEC,COELBA, ANEEL, 0047-022/2007.
15. Normas técnicas COPEL – Materiais de transmissão padrão – NTC 87 – 0310 a 0312, 1993.