

Avaliação de Distintas Técnicas de Proteção Contra Corrosão Marinha Agressiva de Ferragens Eletrotécnicas

P. A.N. Bernardini, UFSC; P.S. Morais, UFSC; L.P. dos Santos, CELESC; J. Silva, CELESC.

Resumo- A utilização de transformadores de distribuição no litoral de Santa Catarina tem como fator limitante da vida do mesmo a incidência de corrosão no tanque do transformador. A ocorrência de perfurações por corrosão do tanque gera operações de manutenção, acarretando em acréscimo de custo operacional. Por outro lado, existem no mercado diversas especificações de revestimento superficial (pinturas e galvanização). O presente trabalho teve por objetivo identificar quais especificações poderiam resultar em maior vida do tanque, utilizando-se de ensaios acelerados de corrosão e de amostras expostas em campo. São relatados os resultados de corrosão acelerada e os resultados de campo.

Palavras-chave—Corrosão Marinha; Ferragens Eletrotécnicas; Técnicas de Revestimento.

I. INTRODUÇÃO

A utilização de transformadores de distribuição no litoral de Santa Catarina tem como fator limitante da vida do mesmo a incidência de corrosão no tanque do transformador. A ocorrência de perfurações por corrosão do tanque gera operações de manutenção, acarretando em acréscimo de custo operacional. Por outro lado, existem no mercado diversas especificações de revestimento superficial (pinturas e galvanização), praticados por fabricantes de tanques de transformadores. O presente trabalho teve por objetivo identificar quais especificações poderiam resultar em maior vida do tanque, utilizando-se de ensaios acelerados de corrosão (névoa salina) e de amostras expostas em campo. São relatados os resultados de corrosão acelerada e os resultados de campo..

II. METODOLOGIA

A metodologia envolveu o levantamento de quais revestimentos são tipicamente aplicados pelo mercado quando se visa aumentar a resistência à corrosão em ambiente marinho. De tal levantamento, selecionaram-se aquelas condições que potencialmente poderiam resultar em maior desempenho que o acabamento atualmente empregado pela CELESC (denominado padrão CELESC). A tabela I apresenta as especificações dos revestimentos selecionados. Tais revestimentos são

Em todas as condições, utilizou-se como material base o aço ABNT aço 1010 laminado a quente, pois este é tipicamente empregado pelos fabricantes de transformadores.

Pretendeu-se, através dos ensaios acelerados de laboratório, obter um primeiro ranqueamento da durabilidade e dos pontos críticos de corrosão de cada amostra.

Os resultados dos testes em campo (ambiente marinho agressivo) servirão para aferir o desempenho constatado nos testes de laboratório.

A. Ensaios de Laboratório

Os ensaios de Névoa Salina foram realizados em uma câmara com névoa visando avaliar a qualidade e vida útil provável de um material metálico quando exposto as determinadas condições climáticas, que podem estar sujeitos durante a aplicação.

A metodologia do ensaio é descrita pelas Normas Técnicas: ABNT/NBR 8094-Material Metálico Revestido e Não-revestido - Corrosão por exposição à Névoa Salina e/ou ANSI/ASTM B 117-73 Standard Method of SALT SPRAY (FOG) TESTING.

O período mínimo que os corpos de prova devem ser submetidos ao envelhecimento acelerado para a câmara salina é de três dias, ou seja, 72 horas, e no máximo 10 dias. O início do ensaio deve ser contado a partir do momento em que sejam obtidas as condições operacionais pré-estabelecidas. São realizadas interrupções de até 20 minutos, após cada 24 horas, necessárias para a inspeção das amostras, rearranjo dos corpos de prova e ajustes necessários.

O resultado é considerado satisfatório quando o revestimento não apresenta sinais de degradação após 10 dias de exposição à névoa salina.

Foram ensaiadas duas amostras de cada uma das seis condições de material descritas na TABELA I, sendo uma delas com um cordão de solda, tendo mais uma amostra de referência por condição de material, perfazendo um total de 18 amostras.

TABELA I
RESUMO DAS CONDIÇÕES DE REVESTIMENTO

Condição	Especificações
1	<ul style="list-style-type: none"> • Revestimento polimérico
2 Padrão CELESC	<ul style="list-style-type: none"> • camada interna: epóxi-poliamina cor branca (45µm), inerte ao óleo isolante. • camada externa: camada de primer epóxi-poliamida na cor óxido de ferro de 45µm e tinta de acabamento em poliuretano alifático na cor cinza claro, com espessura seca mínima de 160µm.
3 Variante do Padrão CELESC	<ul style="list-style-type: none"> • idem condição 2 seguida de aplicação manual, com pincel de resina acrílica sobre o produto acabado.
4 Esquema de Pintura 4	<ul style="list-style-type: none"> • Jateamento com abrasivo ao metal quase branco, padrão visual Sa 2 ½ da norma Sueca SIS-05-5900 • Galvanização por imersão à quente com espessura média da camada galvanizada de 60-70µm. • Pintura Interna: Uma demão de Primer Epóxi Isocianato na cor vermelho óxido, espessura mínima do filme seco 15-25µm. Acabamento com uma demão de Primer Epóxi PNA na cor Branca, espessura mínima do filme seco 40-50µm. • Pintura Externa: Uma demão de Primer Epóxi Isocianato na cor vermelho óxido, espessura mínima do filme seco 15-25µm. Pintura intermediária com duas demãos de Epóxi PDA, na cor Branca, sendo as espessuras mínimas de filme seco 30-40µm e 50-70µm referentes à primeira e segunda demãos, respectivamente. Acabamento com duas demãos de PU AE AS, padrão cinza Munsell No 6.5, sendo as espessuras mínimas de filme seco 20-30µm referentes a cada uma das demãos.
5 Esquema de Pintura 5	<ul style="list-style-type: none"> • Jateamento com abrasivo ao metal quase branco, padrão visual Sa 2 ½ da norma Sueca SIS-05-5900 • Galvanização por imersão à quente • Pintura Interna: <ul style="list-style-type: none"> a) Tanque, tampa, conservador e tubulações: Tinta poliuretânica alifática de dois componentes, pigmentada com dióxido de titânio rutilo (60µm película seca, cor branca MUNSELL no 9.5). b) Radiadores: Fosfatização à quente por bombeamento; Pintura com tinta de fundo éster de epóxi/óxido de ferro por bombeamento e enchimento total, na espessura final da película seca de 30 ± 5 µm. • Pintura Externa: <ul style="list-style-type: none"> Tanque, tampa, conservador e tubulações e caixas de equipamentos auxiliares: <ul style="list-style-type: none"> Tinta de fundo: Epóxi-Poliamida, 2 componentes, resina epóxi, pigmentos básicos de óxido de ferro, e fosfato de zinco, na espessura mínima de película seca de 80µm. Tinta de acabamento: Poliuretânica alifática, semi-brilho, 2 componentes, resina poliéster saturado e pigmento de óxido de titânio e óxido de ferro, na espessura mínima de película seca de 120µm, cor cinza MUNSELL n0 6.5. Espessura total da pintura externa de 200µm.
6 Esquema de Pintura 6	<ul style="list-style-type: none"> • Jateamento com abrasivo ao metal quase branco com granalha de aço G40, padrão visual Sa 2 ½ da norma Sueca SIS-05-5900 • Externamente, aspersão térmica com arame de zinco na espessura mínima de 80µm. Alternativamente, será admitida a zincagem por imersão à quente, com a mesma espessura mínima de camada de zinco. • Pintura Interna Conforme NBR – 5440 • Pintura Externa: <ul style="list-style-type: none"> a) Primer de aderência: uma demão de “wash-primer” à base de resina polivinil butiral pigmentada com tetróxido cromato de zinco, com espessura seca não superior a 15µm. b) Tinta intermediária: tinta à base de epóxi-poliamida de altos sólidos, com espessura seca mínima de 80µm, obtida preferencialmente com uma única demão. c) Tinta de acabamento: tinta à base de resina acrílica com espessura seca de 70 a 80µm, obtida preferencialmente por duas demãos com espessura seca de 35 a 40µm por demão. A cor deverá ser cinza claro, MUNSELL n0 6.5.

As condições de ensaio de nevoa salina empregadas estão apresentadas abaixo:

TABELA II
RESUMO DAS CONDIÇÕES DE REVESTIMENTO

Parâmetros Operacionais	
Temperatura (°C)	40
Pressão (Kgf/cm ²)	0,7 a 1.5
Fluxo (ml/min)	0,5

III. RESULTADOS

A. Caracterização dos revestimentos aplicados.

Visando caracterizar os revestimentos realizados por terceiros, especificados de acordo com a tabela I, foram preparadas análises metalográficas de cada chapa de material revestido a fim de se determinar as espessuras dos revestimentos, confrontando-as com os valores especificados e com os resultados dos ensaios de laboratório.

Mediu-se em cada condição de material, a espessura da pintura total e, nas amostras galvanizadas (amostras 4, 5 e 6), mediu-se também essa camada. Esses resultados são apresentados graficamente e em uma tabela individual, que contém ainda a Espessura Média dos Revestimentos, o Desvio Padrão, o Intervalo de Confiança de 95% e os Limites Superior e Inferior.

1) Condição de Material 1

TABELA III
CONDIÇÃO DE MATERIAL 1

Condição 1	
Medidas	Espessura do Polímero Medida
1	35 μm
2	105 μm
3	70 μm
4	63 μm
Média	68,3 μm
Desvio Padrão	28,8 μm
IC(95%)	45,8 μm
Limite Superior	114,1 μm
Limite Inferior	22,4 μm

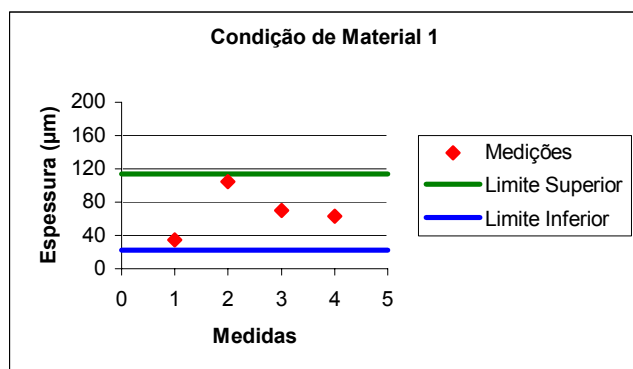


Figura 1. Condição de Material 1

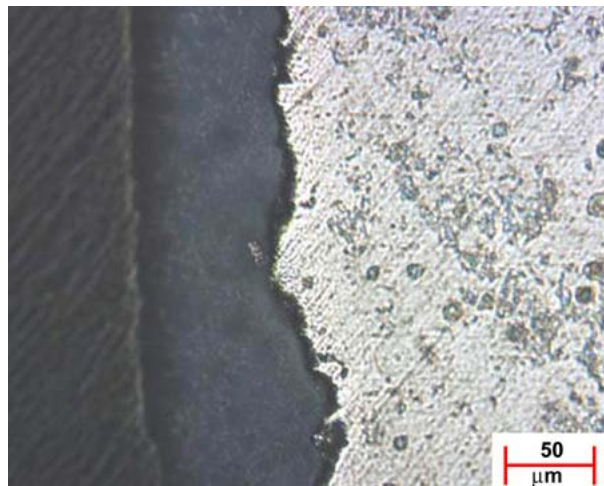


Figura 4. Seção Transversal Condição 1

2) Condição de Material 2

TABELA IV
CONDIÇÃO DE MATERIAL 2

Condição 2	
Especificada	205 μm
Medidas	Espessura da Pintura Medida
1	146 μm
2	128 μm
3	186 μm
4	111 μm
Média	142,8 μm
Desvio Padrão	32,2 μm
IC(95%)	51,2 μm
Limite Superior	193,9 μm
Limite Inferior	91,5 μm

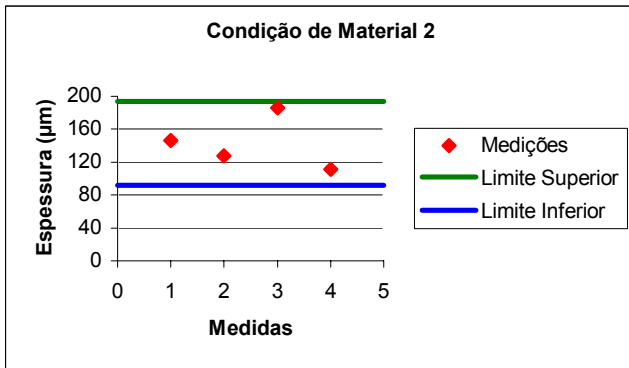


Figura 2. Condição de Material 2

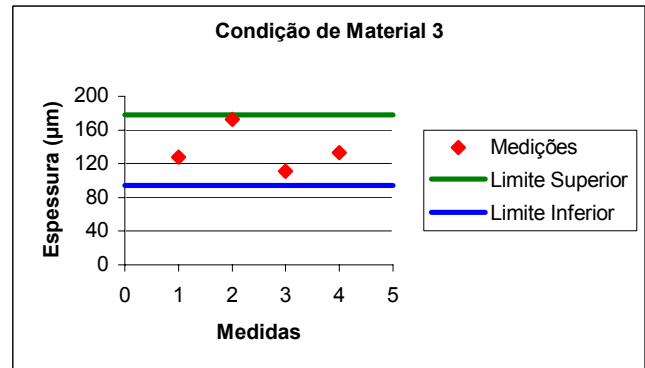


Figura 4. Condição de Material 3

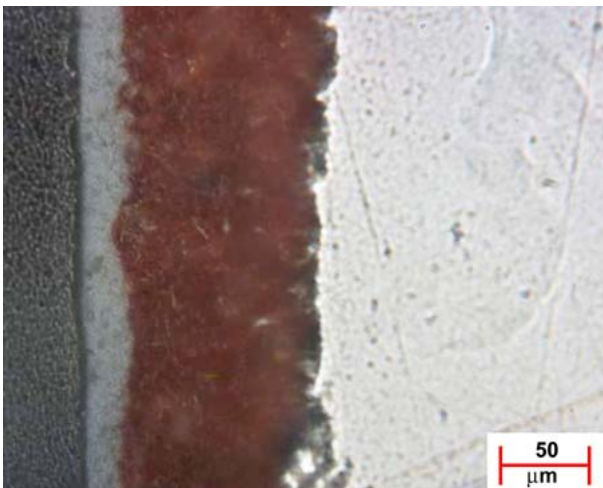


Figura 3. Seção Transversal Condição 2

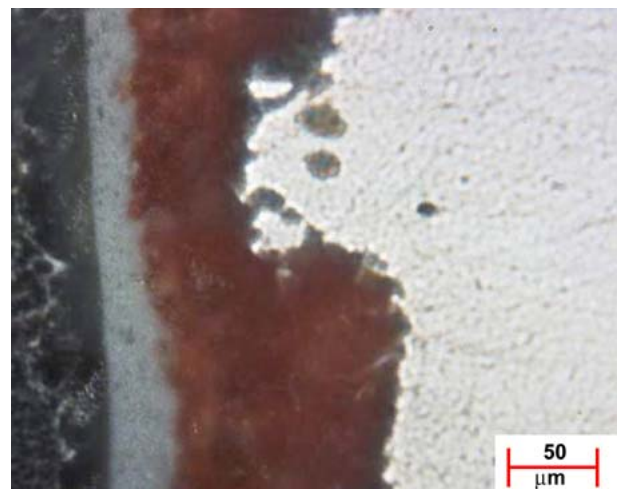


Figura 5. Seção Transversal Condição 3

3) Condição de Material 3

TABELA V
CONDIÇÃO DE MATERIAL 3

Condição 3	
Especificada	205 µm
Medidas	Espessura da Pintura Medida
1	128 µm
2	173 µm
3	111 µm
4	133 µm
Média	136,3 µm
Desvio Padrão	26,2 µm
IC(95%)	41,8 µm
Limite Superior	178,0 µm
Limite Inferior	94,5 µm

4) Condição de Material 4

TABELA VI
CONDIÇÃO DE MATERIAL 4

Condição 4		
	Pintura	Camada Zn
Especificada	135-195 µm	60-70 µm
Medidas	Espessura Medida	Espessura Medida
1	151 µm	74 µm
2	143 µm	98 µm
3	131 µm	95 µm
4	138 µm	115 µm
Média	140,8 µm	95,5 µm
Desvio Padrão	8,4 µm	16,8 µm
IC(95%)	13,4 µm	26,8 µm
Limite Superior	154,2	122,3 µm
Limite Inferior	127,3	68,7 µm

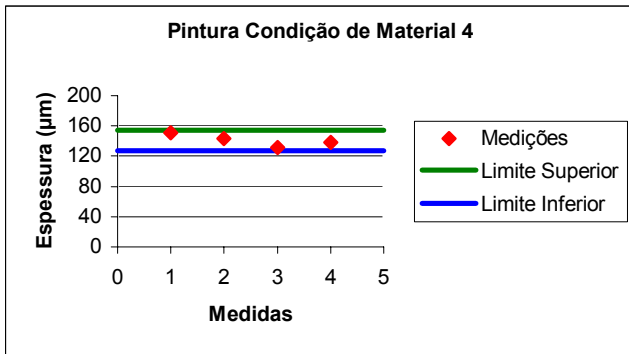


Figura 6. Condição de Material 4

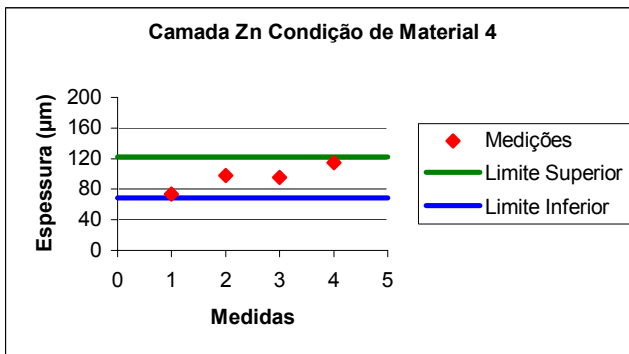


Figura 7. Condição de Material 4

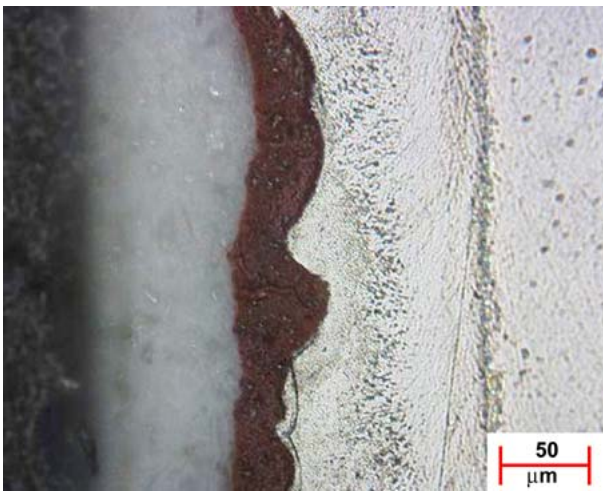


Figura 8. Seção Transversal Condição 4

5) Condição de Material 5

TABELA VII
CONDIÇÃO DE MATERIAL 5

Condição 5		
	Pintura	Camada Zn
Especificada	200 µm	70 µm
Medidas	Espessura Medida	Espessura Medida
1	158 µm	106 µm
2	164 µm	92 µm

3	121 µm	142 µm
4	160 µm	110 µm
Média	150,8 µm	112,5 µm
Desvio Padrão	20,0 µm	21,1 µm
IC(95%)	31,8 µm	3,2 µm
Limite Superior	182,6	33,6 µm
Limite Inferior	118,9	146,1 µm

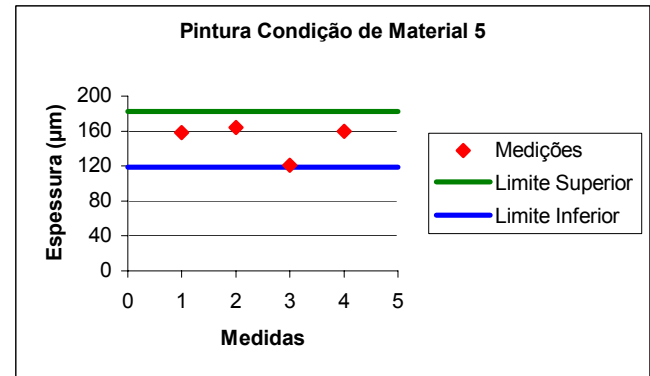


Figura 9. Condição de Material 5

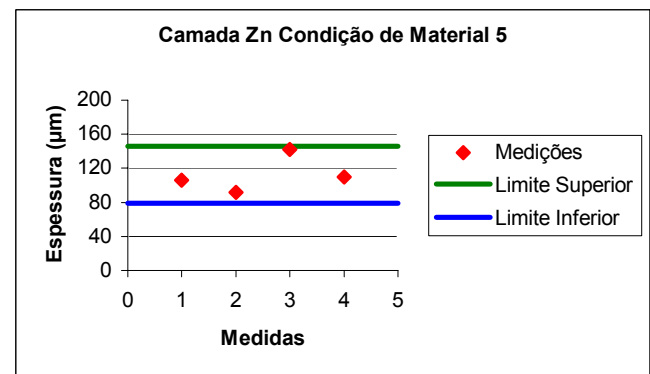


Figura 10. Condição de Material 5

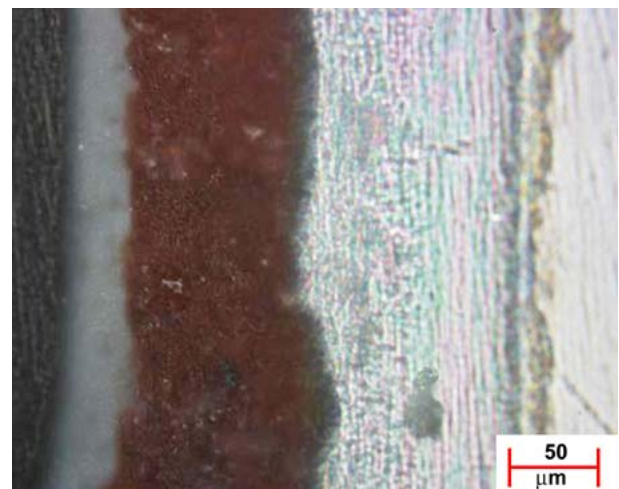


Figura 11. Seção Transversal Condição 5

6) *Condição de Material 6*TABELA VIII
CONDIÇÃO DE MATERIAL 6

Condição 6		
	Pintura	Camada Zn
Especificada	165-175 μm	80 μm
Medidas	Espessura Medida	Espessura Medida
1	179 μm	107 μm
2	155 μm	122 μm
3	140 μm	108 μm
4	133 μm	130 μm
Média	151,8 μm	116,8 μm
Desvio Padrão	20,4 μm	11,2 μm
IC(95%)	32,4 μm	17,8 μm
Limite Superior	184,1 μm	134,5 μm
Limite Inferior	119,4 μm	99,0 μm

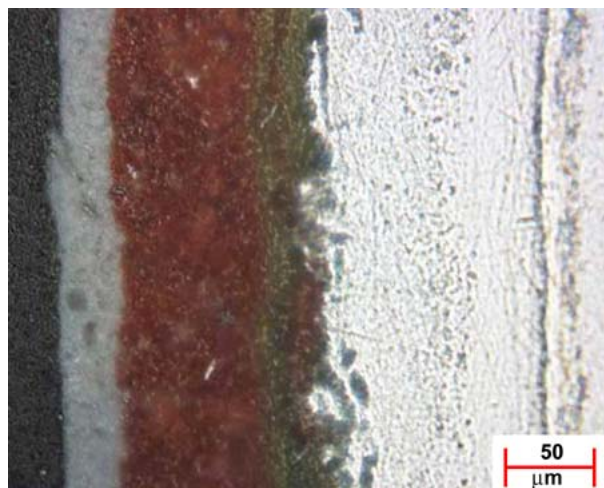


Figura 14. Secção Transversal Condição 6

B. *Resultados de corrosão em câmara de névoa salina.*

A figura 15 ilustra um exemplo de resultado do ensaio de corrosão em névoa salina. Da direita esquerda para a direita tem-se a amostra 2 de referencia (sem ensaio), amostra 2A (sem cordão de solda) apresentando pontos de corrosão após 5 dias de ensaio e amostra 2S (com cordão de solda) apresentando sinais de corrosão após 2 dias de ensaio.

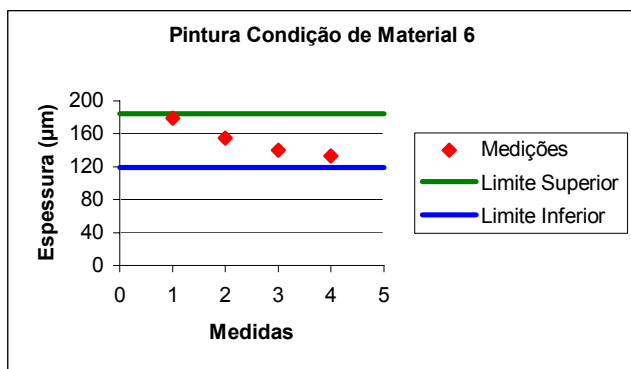


Figura 12. Condição de Material 6

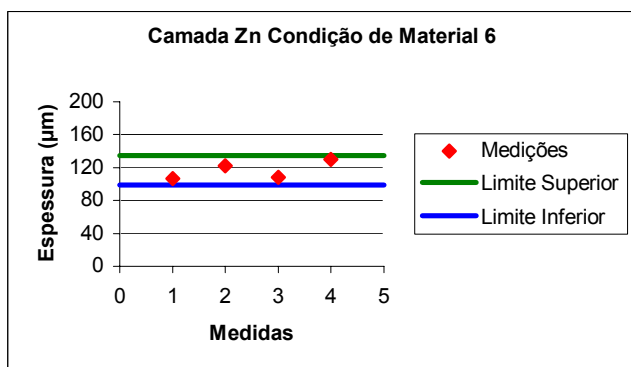


Figura 13. Condição de Material 6

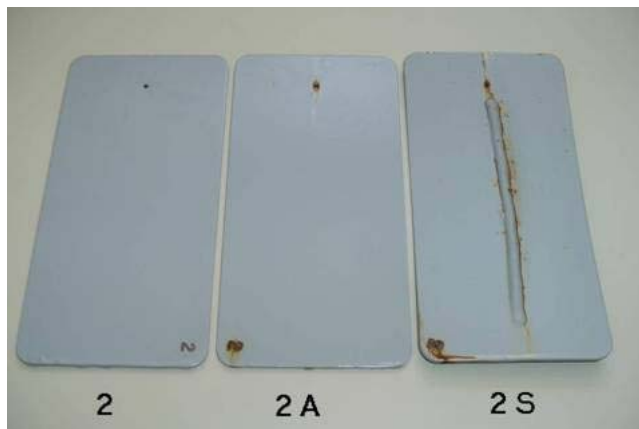


Figura 15. Secção Transversal Condição 6

Repetindo-se os ensaios para as demais amostras, obtiveram-se os resultados apresentados na Figura 16, que indicam o tempo de exposição no qual surgiram os primeiros sinais de degradação e apontam que somente as amostras com as Condições de Material 4 e 5 é que atenderam as normas de ensaio, ou seja, resistiram aos 10 dias de exposição à Névoa Salina.

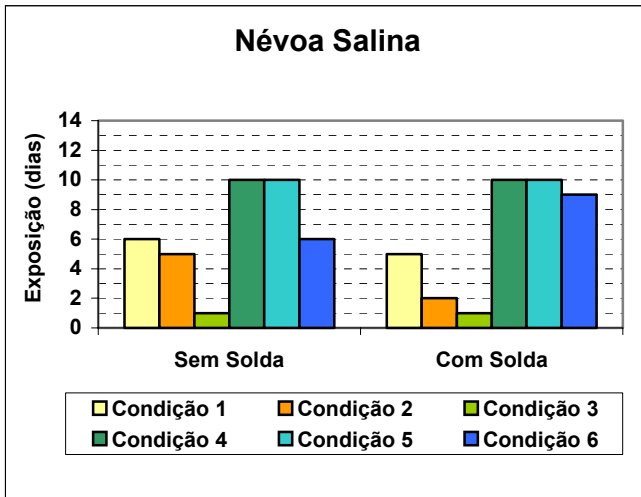


Figura 16. Resumo do Ensaio de Névoa Salina.

As amostras com a Condição de Material 3 apresentaram alterações no revestimento já no 1º dia.

Embora não haja literatura que estabeleça correlação entre tempo de exposição em laboratório e vida em campo, a experiência empírica acumulada neste tipo de ensaio permite sugerir uma estimativa de vida em campo conforme relatado na tabela IX.

TABELA IX

ESTIMATIVA DA VIDA EM CAMPO A PARTIR DOS RESULTADOS DA NEVOA SALINA PARA CADA CONDIÇÃO DE REVESTIMENTO DE MATERIAL

Condição	Tipo	Estimativa aproximada
1	Sem Solda	3 anos
	Com Solda	
2	Sem Solda	3 anos
	Com Solda	Inferior a 1 ano
3	Sem Solda	Desclassificada em qualquer condição.
	Com Solda	
4	Sem Solda	5 anos
	Com Solda	
5	Sem Solda	5 anos
	Com Solda	
6	Sem Solda	3 anos
	Com Solda	

C. Resultados de corrosão em campo.

Foi preparado e montado um banco de testes, ilustrado nas Figuras 17 e 18, instalado na praia do Farol de Santa Marta, no município de Laguna, para exposição das amostras ao ambiente.



Figura 17. Banco de testes de campo.



Figura 18. Banco de testes de campo.

Nessa oportunidade foram selecionadas seis carcaças de transformadores, cada uma com as especificações descritas na TABELA I.

Foram ensaiadas também três amostras (uma delas com um cordão de solda) de cada uma das seis condições de materiais descritas na TABELA I, perfazendo um total de dezoito (18) amostras (chapas).



Figura 19. Banco de testes de campo.

Após 11 meses de exposição, as carcaças apresentadas distintos graus de corrosão, sendo que um exemplo está ilustrado na Figura 19. Os resultados dos ensaios de campo (ambiente marinho agressivo) estão apresentados nas Tabelas X e XI, onde se observa que houve correlação com os resultados anteriores de laboratório.

TABELA X
RESULTADO DOS ENSAIOS DE CAMPO AO ATAQUE DE CORROSÃO
TRANSFORMADORES

TRAFO	SITUAÇÃO	
	APÓS 1 MES	APÓS 11 MESES
1	Pontos de corrosão	Corrosão intensa
2	Pontos de corrosão	Corrosão intensa
3	Pontos de corrosão	Vários ptos de corrosão
4	Excelente	Excelente
5	Excelente	Excelente
6	Excelente	Pontos de corrosão

TABELA XI
RESULTADO DOS ENSAIOS DE CAMPO AO ATAQUE DE CORROSÃO
CHAPAS

CHAPA	SITUAÇÃO	
	APÓS 1 MES	APÓS 11 MESES
1 a	Pontos de corrosão	Corrosão intensa
1 b	Pontos de corrosão	Corrosão intensa
1 c	Pontos de corrosão	Corrosão intensa
2 a	Pontos de corrosão	Corrosão intensa
2 b	Pontos de corrosão	Corrosão intensa
2 c	Pontos de corrosão	Corrosão intensa
3 a	Excelente	Vários ptos de corrosão
3 b	Pontos de corrosão	Vários ptos de corrosão
3 c	Excelente	Vários ptos de corrosão
4 a	Excelente	Excelente
4 b	Excelente	Excelente
4 c	Excelente	Excelente
5 a	Excelente	Excelente
5 b	Excelente	Excelente
5 c	Excelente	Excelente
6 a	Excelente	Pontos de corrosão
6 b	Excelente	Pontos de corrosão
6 c	Excelente	Pontos de corrosão

IV. CONCLUSÕES

Inicialmente selecionou-se revestimentos de mercado cujas características qualitativas (presença de camada galvanizada e diferentes tipos de tintas de proteção) sugeriam que apresentariam maior resistência à corrosão salina que o atual padrão adotado pela CELESC.

Tanto o resultado do ensaio de nevoa salina como os testes de campo demonstraram que os revestimentos nas condições 4 e 5 foram os que apresentaram melhores resultados de resistência a oxidação em nevoa salina (10 dias de exposição sem apresentar sinais de corrosão, inclusive em metal base contendo cordão de solda) e testes de campo (11 meses sem apresentar sinais de corrosão).

O atual revestimento adotado pela empresa (condição 2) apresentou nos testes de névoa salina, sinais de corrosão após 2 dias de exposição para material base com cordão de solda, após 5 dias de exposição para material base sem cordão de solda e corrosão intensa após 11 meses de exposição em campo.

Considerando tais resultados pode-se concluir que haveria ganho significativo de vida caso se substituísse o revestimento atualmente praticado pela empresa pelos revestimen-

tos nas condições 4 ou 5 ou 6.

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] The diffusion of oxygen through paint and varnish films. Mayne, J E O ; Mills, D J , University of Cambridge UK, 1994 JOURNAL OF THE OIL AND COLOUR CHEMISTS' ASSOCIATION 77, (4), 154-155 Apr. 1994
- [2] Hot-salt corrosion testing--an international intercomparison. Saunders, S R ; Nicholls, J R National Physical Laboratory UK, 1995 MATERIALS AT HIGH TEMPERATURES 13, (3), 115-120 1995
- [3] Accelerated corrosion testing. II. Description of three test methods Forshee, A G - Boeing - USA, 1993 METAL FINISHING 91, (12), 35-38 Dec. 1993
- [4] Accelerated testing for simulating acidic pollution and marine environment induced atmospheric-corrosion. Jin, L ; Jin, L ; Tang, Q ; Pong, C ; 59th Research Institute (China) 1995 CORROSION SCIENCE AND PROTECTION TECHNIQUE 7, (3), 214-215 1995
Zinc alloy coatings--a European perspective. Roper, M E ; O'-Grady, J -Enthone-OMI (UK) 1996
- [5] TRANSACTIONS OF THE INSTITUTE OF METAL FINISHING 74, (4), 3-6 July 1996
Accelerated laboratory test for evaluating the protective systems of off-shore structures. Draghetti, M (vert bar) a Agip; Casarini, G (vert bar) a Istituto Ricerche Breda; Forti, F a Istituto Ricerche Breda; Sala, G (vert bar) a Istituto Ricerche Breda Italy, 1990 METALLURGIA ITALIANA 82, (12), 1171-1179 Dec. 1990