

JONATHAN BRANDÃO RAMOS DOS SANTOS

Análise comparativa dos diferentes tipos de revestimento superficial para resistência a corrosão em equipamentos offshore, destinados à indústria do petróleo

Jonathan Brandão Ramos dos Santos

Análise comparativa dos diferentes tipos de recobrimento superficial para resistência a corrosão em equipamentos offshore, destinados à indústria do petróleo

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Sampaio Martins

S237a	Santos, Jonathan Brandão Ramos dos Análise comparativa dos diferentes tipos de revestimento superficial para resistência a corrosão em equipamentos offshore, destinados à indústria do petróleo / Jonathan Brandão Ramos dos Santos – Guaratinguetá, 2019. 46 f : il. Bibliografia: f45-46 Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2018. Orientador: Prof. Dr. Marcelo Sampaio Martins 1. Corrosão. 2. Revestimentos. 3. Indústria petroquímica. I. Título. CDU 620.193
-------	---

Luciana Máximo

Bibliotecária CRB-8/3595

JONATHAN BRANDÃO RAMOS DOS SANTOS

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
"GRADUADO EM ENGENHARIA MECÂNICA"

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Dr. Marcelo Sampaio Martins

Coordenador

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Marcelo Sampaio Martins
Orientador/UNESP-FEG

Prof. Me. Antonio dos Reis de Faria Neto
UNESP-FEG

Prof. Me. Everton Coelho de Medeiros
UNESP-FEG

Dezembro / 2018

DADOS CURRICULARES

JONATHAN BRANDÃO RAMOS DOS SANTOS

NASCIMENTO	01.11.1991 – São José dos Campos / SP
FILIAÇÃO	Fernando Antunes dos Santos Cláudia Aline Brandão Ramos
2010/2018	Bacharel em Engenharia Mecânica UNESP - Universidade Estadual Paulista "Júlio Mesquita Filho"

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por mais essa etapa concluída. Gostaria de agradecer a minha família pelo apoio e suporte por todos esses anos. Agradeço também o corpo docente e discente que foram imensamente responsáveis pela minha formação e crescimento pessoal, profissional e acadêmico.

Esta publicação possui apoio financeiro da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), por meio do Programa de Recursos Humanos da ANP para o setor de Petróleo e Gás PRH-ANP/MCTI no 48 (PRH48).

“O homem não é nada além do que aquilo que a educação faz dele.”

Immanuel Kant

RESUMO

Corrosão pode ser definida como processo de deterioração dos materiais, em especial metálicos, ou de suas propriedades devido a uma reação com o ambiente. O presente trabalho tem por objetivo evidenciar a diferença entre proteções corrosivas destinadas à equipamentos offshore das proteções existentes para corrosão em ambientes menos agressivos. Para tal, foram testados treze corpos de prova de diferentes dimensões e com quatro tipos de revestimento diferente, sendo dois revestimentos utilizados em equipamentos offshore e dois revestimentos utilizados em equipamentos onshore. Os corpos de prova foram testados utilizando uma atmosfera de névoa salina utilizando a norma ASTM B-117. A variação mássica dos corpos de prova foram medidos ao longo do tempo e comparados entre si. Os revestimentos destinados a equipamentos offshore se mostraram altamente resistentes à esse tipo de teste, uma vez que a sua variação mássica foi praticamente nula. Para os revestimentos utilizados em equipamentos onshore, além da variação mássica, a oxidação dos corpos de prova fica visualmente evidente.

PALAVRAS CHAVES: Offshore. Corrosão. Recobrimento superficial.

ABSTRACT

Corrosion can be defined as a process of deterioration of materials, especially metals, or their properties due to a reaction with the environment. The present work aims to highlight the differences between coating systems of offshore equipment from coating systems in less aggressive environments. Thus, thirteen specimens of different layers and different types of different coating systems were prepared. Two coatings used in offshore equipment and two coatings used in equipment onshore were applied. The specimens were tested using a salt spray chamber as described on ASTM B-117 standard. The variation of the specimen's mass were measured over time and compared to each other. The coatings systems for offshore equipment were highly resistant to this type of test, since their mass variation was practically zero. For coatings systems for onshore equipments, the mass variation could be verified and the oxidation of the specimens are visually evident.

KEYWORDS: Offshore. Corrosion. Surface coating.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Diferentes zonas de agressividade para estruturas marítimas.....	14
Figura 2 - Representação esquemática das principais reações anódicas e catódicas de uma célula de corrosão.	16
Figura 3 - Perfis de corrosão para diferentes zonas de estruturas metálicas e características do ambiente	17
Figura 4 - Mistura de tintas: Componente A e B com agitador pneumático	21
Figura 5 - Equipamento de aplicação de tinta airless bicomponente.	22
Figura 6 - Kit Bresle	23
Figura 7 - Máquina de Salt Spray	24
Figura 8 - Teste de adesão - Pull Off	25
Figura 9 - Tipos de falhas de aderência	25
Figura 10 - Exemplos de porcentagem de área com corrosão de 0,03% a 0,3%	30
Figura 11 - Exemplos de porcentagem de área com corrosão de 1,0% a 10%.....	31
Figura 12 - Exemplos de porcentagem de área com corrosão de 16% a 50%.....	32
Figura 13 - Corpos de prova antes do início dos testes	36
Figura 14 - Cupilhas utilizadas para ensaio de Salt Spray	37
Figura 15 - Posição dos corpos de prova dentro da câmara de Salt Spray	38
Figura 16 - Mostrador da máquina de Salt Spray	39
Figura 17 - Gráfico da variação percentual do peso dos corpos de prova com revestimentos offshore	43
Figura 18 - Gráfico da variação percentual do peso dos corpos de prova com revestimentos onshore	43
Figura 19 - Avaliação das superfícies corroídas após os teste	45
Figura 20 - Avaliação das cupilhas após os testes.....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição química elementar da água do mar, em quantidades médias	15
Tabela 2 - Tabela da norma N-13 - Requisitos técnicos para Serviço de Pintura - para a Norma N-1374 - Revestimentos Anticorrosivos para Manutenção de Unidades Marítimas de Exploração e Produção.	26
Tabela 3: Escala e Descrição da corrosão, conforme norma ASTM D610	29
Tabela 4: Especificações técnicas da câmara de corrosão Salt Spray	34
Tabela 5: Dimensões dos corpos de prova com o tipo de tinta utilizada.....	35
Tabela 6: Espessura de camada dos diferentes corpos de prova	35
Tabela 7: Informações dos corpos de prova de revestimentos onshore	38
Tabela 8: Massa em gramas dos corpos de prova de revestimento <i>offshore</i> pelo tempo de exposição em ambiente de atmosfera salina.....	40
Tabela 9: Massa em gramas dos corpos de prova de revestimento <i>onshore</i> pelo tempo de exposição em ambiente de atmosfera salina.....	40
Tabela 10: Variação mássica em gramas dos corpos de prova em relação ao peso original para os revestimentos <i>offshore</i>	41
Tabela 11: Variação mássica em gramas dos corpos de prova em relação ao peso original para os revestimentos <i>onshore</i>	41
Tabela 12: Variação mássica percentual dos corpos de prova em relação ao peso original para os revestimentos <i>offshore</i>	42
Tabela 13: Variação mássica percentual dos corpos de prova em relação ao peso original para os revestimentos <i>onshore</i>	42

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
1.1	OBJETIVOS GERAIS.....	12
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
1.3	JUSTIFICATIVAS	12
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1	CORROSÃO MARÍTIMA	14
2.2	TIPOS DE REVESTIMENTO	17
2.2.1	Tinta de Etil - Silicato de Zinco - Alumínio.....	19
2.2.2	Tinta de Fundo Epóxi Pigmentada com Alumínio;	19
2.2.3	Tinta Epóxi - Fosfato de Zinco de Alta Espessura;	19
2.2.4	Tinta de Poliuretano Acrílico;	19
2.2.5	Tinta Epóxi, sem Solventes, Tolerante a Superfícies Molhadas;.....	19
2.2.6	Tinta Epóxi “Novolac”	20
2.2.7	Metalização.....	20
2.3	PREPARAÇÃO DE SUPERFÍCIE	20
2.4	PREPARAÇÃO DO REVESTIMENTO	21
2.5	TIPOS DE TESTE.....	22
2.5.1	Teste de Salinidade	22
2.5.2	Teste de <i>Salt Spray</i>	24
2.5.3	Teste de <i>Pull-Off</i>	24
2.5.4	Ensaio Visual.....	26
3	METODOLOGIA.....	33
3.1	EQUIPAMENTO DE SALT SPRAY	33
3.2	CORPOS DE PROVA.....	34
3.3	REALIZAÇÃO DOS EXPERIMENTOS:	38
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	40
5	CONCLUSÃO.....	47
	REFERENCIAS.....	47

1 INTRODUÇÃO

O petróleo ainda hoje é uma das principais fontes de energia de diversos países, inclusive no Brasil, onde, segundo um relatório publicado pela ONU, representa 34% de toda energia consumida no país. Sendo utilizado principalmente como combustível, também é utilizado na fabricação de diversos produtos como polímeros, óleos lubrificantes, solventes, parafinas, querosene e asfalto. Na busca de sua autossuficiência nesse importante recurso, a exploração de petróleo é realizada pela empresa estatal Petrobrás, sendo majoritariamente em plataformas offshore. Segundo o Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2016) mais de 95% de toda reserva de petróleo do país e 94% da produção se encontram no mar, sendo 43% da produção marítima vinda do Pré-Sal.

A busca por novas fontes deste minério impulsionou a tecnologia nacional para superar desafios na área de engenharia, para exploração em águas superprofundas. A descoberta do Pré-Sal como maior reserva de petróleo do país aumenta uma preocupação que sempre houve em plataformas, a confiabilidade dos equipamentos. Segundo Heidersbach (2011), muitos poços pelo mundo, que tinham vida esperada de 20 a 30 anos, acabaram se mostrando economicamente viáveis para exploração por mais de 50 anos. A vida prolongada desses poços intensifica um fator que sempre deve ser levado em consideração nos projetos - principalmente em ambientes de grande salinidade, a corrosão.

A corrosão pode ser interpretada de diferentes formas, pois há vários tipos de corrosão e dificilmente uma definição única sobre a origem deste fenômeno pode ser aplicada a todos os casos. Em geral, ela é gerada a partir das matérias tentando encontrar seu estado de menor energia, voltando à forma natural. Para a Peabody (2011 apud SINGH, 2014, p. 7) define corrosão como "A deterioração de uma substância - normalmente metal - ou de suas propriedades por causa de uma reação com o ambiente". Essa definição evidencia a importância de considerar uma proteção para corrosão a partir do ambiente em que ela irá se encontrar. Fatores que influenciam na corrosão como a alta temperatura, presença de ácidos (como ácido sulfúrico gerado em algumas queimas), choques mecânicos e raios UV estão sempre presentes no ambiente offshore.

Há diversas formas de se evitar ou mitigar os efeitos da corrosão. Podem ser adicionados materiais de sacrifício, modificação do ambiente para proteger dos intempéries além de, na maioria dos casos, um revestimento. Revestimentos podem ser desde uma simples pintura até uma metalização. Não somente a proteção à corrosão é importante nestes casos, mas também a adesão da camada ao substrato, resistência à raios UV e reatividade com outros

elementos químicos que possam existir no ambiente. Independente do tipo de revestimento escolhido, todo o processo é importante, desde a preparação da superfície, preparação do revestimento, aplicação e testes posteriores para garantir a confiabilidade do revestimento.

1.1 OBJETIVOS GERAIS

O presente trabalho tem como objetivo principal comparar alguns dos diferentes tipos de recobrimento para estruturas offshore, nos seus diferentes usos, mecanismos de proteção e grau de proteção ao ambiente.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Realizar a comparação dos revestimentos no grau de proteção através da realização de teste de Salt Spray, acompanhamento desde a preparação da pintura até a realização dos testes.

1.3 JUSTIFICATIVAS

O estudo dos diferentes tipos de recobrimento se faz necessário para eliminar ou mitigar os efeitos da corrosão, minimizando seus custos. Estima-se que o custo da corrosão gira em torno de 3,5% a 4,5% do PIB de um país desenvolvido. Considerando o PIB brasileiro de 2018, que é de 6,8 trilhões de reais, pode-se estimar que o custo da corrosão brasileira custa cerca de 270 bilhões de reais. Para Gentil (2007), as perdas podem ser diretas ou indiretas. O autor cita como perdas diretas gastos ligados à manutenção ou substituição de peças ou equipamentos danificados ou sujeitos a corrosão. Os custos indiretos são mais difíceis de mensurar e estão ligados a:

Paralisações acidentais - para limpeza ou substituição de algum componente;

Perda de eficiência - aumento da perda de carga em tubulações;

Contaminação de produtos - podendo muitas vezes danificar o produto final, gerando perdas materiais e, em alguns casos, riscos para a saúde;

Superdimensionamento de projeto - aumentando os custos, através de uma tentativa de proteger contra a corrosão, porém sem o conhecimento necessário.

Outros custos que são difíceis de serem estimados são os relacionados a falha de um equipamento ou estrutura quando há prejuízos ambientais ou à saúde e vida humana. Tanto

uma contaminação na água que será consumida, um vazamento devido a um furo na tubulação ou a falha de uma estrutura devido à fragilização podem causar perdas irreparáveis.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

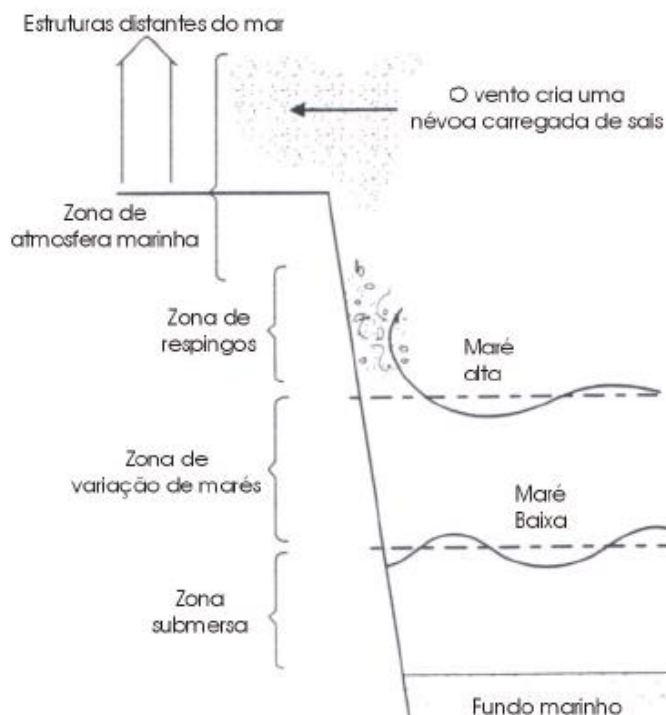
2.1 CORROSÃO MARÍTIMA

Dos meios naturais, o ambiente marítimo é o mais agressivo no que se refere a corrosão. Embora a corrosão ocorra com os mais diferentes materiais, em especial com os metais, o principal elemento que se relaciona é o aço. O aço é uma liga Ferro-Carbono que é utilizado na maioria dos equipamentos e estruturas metálicas.

Em uma mesma estrutura, existem diferentes zonas de agressividade de corrosão e, conseqüentemente, um tipo de proteção recomendado, conforme Figura 1:

- Atmosfera Marítima – Tinta a base de Epóxi;
- Zona de respingos – Recobrimento de epóxi-poliamida;
- Faixa de variação de maré - Recobrimento de epóxi-poliamida;
- Submersa – Revestimento de proteção catódica;
- Fundo Marinho – Sem proteção específica, mas beneficiada pela proteção catódica.

Figura 1 - Diferentes zonas de agressividade para estruturas marítimas



Fonte: Lima, Semengo (2004).

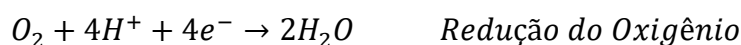
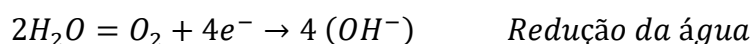
Vários são os mecanismos de corrosão e eles não atuam de forma isolada fora do ambiente de laboratório. Porém, para estruturas metálicas em ambientes marítimos o principal mecanismo de corrosão tem natureza eletroquímica. Para que ocorra este tipo de fenômeno é necessário haver diferenças de potencial elétricos e um meio eletrolítico. A água do mar, que possui uma grande concentração de cloreto de sódio - conforme Tabela 1 -, funciona como meio eletrolítico.

Tabela 1 - Composição química elementar da água do mar, em quantidades médias

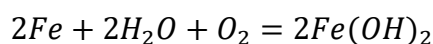
Composto	Concentração (g/L)
NaCl	25,5
MgCl ₂	5,2
Na ₂ SO ₄	4,1
CaCl ₂	1,2
KCl	0,9
NaHCO ₃	0,2
KBr	0,1
H ₃ BO ₃	0,03
SrCl ₂	0,03
NaF	0,003
Ba(NO ₃) ₂	9,94x10 ⁻⁵
Mn(NO ₂) ₂	3,4x10 ⁻⁵
Cu(NO ₃) ₂	3,08x10 ⁻⁵
Zn(NO ₃) ₂	9,6x10 ⁻⁶
Pb(NO ₃) ₂	6,6x10 ⁻⁶
AgNO ₃	4,9x10 ⁻⁷

Fonte: Heidersbach (2010).

As reações mais comuns neste tipo de meio são através da redução do oxigênio ou da água na seguinte equação

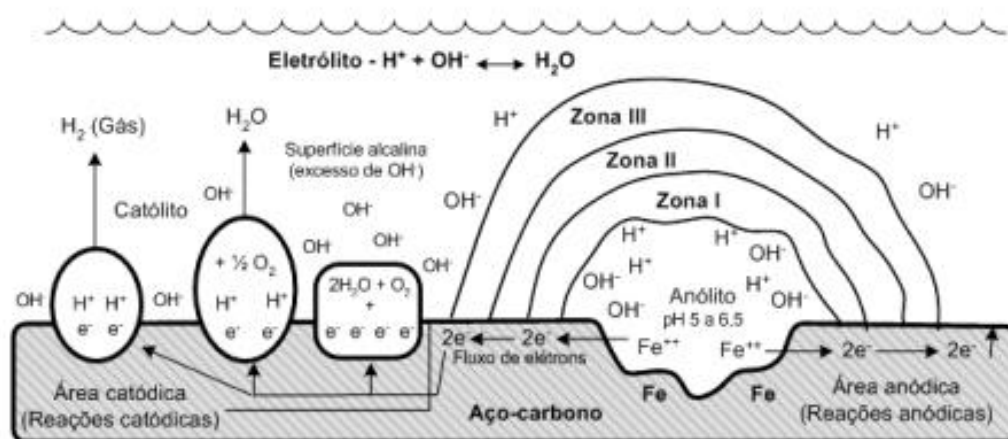


Para o ferro, a equação completa fica:



O óxido de ferro, $\text{Fe}(\text{OH})_2$, é popularmente conhecido como ferrugem. O mesmo tipo de reação acontece com outros metais em diferentes intensidades. Esse tipo de reação, chamada de oxiredução, ocorre por diferença de potenciais dois materiais diferentes, ou por diferença de potencial geradas por impurezas dentro do mesmo material. O material (ou região) com maior potencial elétrico (mais nobres) funcionam como catodo, enquanto o elemento (ou região) de menor potencial funciona como anodo, perdendo elétrons, conforme Figura 2 abaixo:

Figura 2 - Representação esquemática das principais reações anódicas e catódicas de uma célula de corrosão. Embora a superfície esteja imersa, até gotículas de água são suficientes para ocorrer a reação.

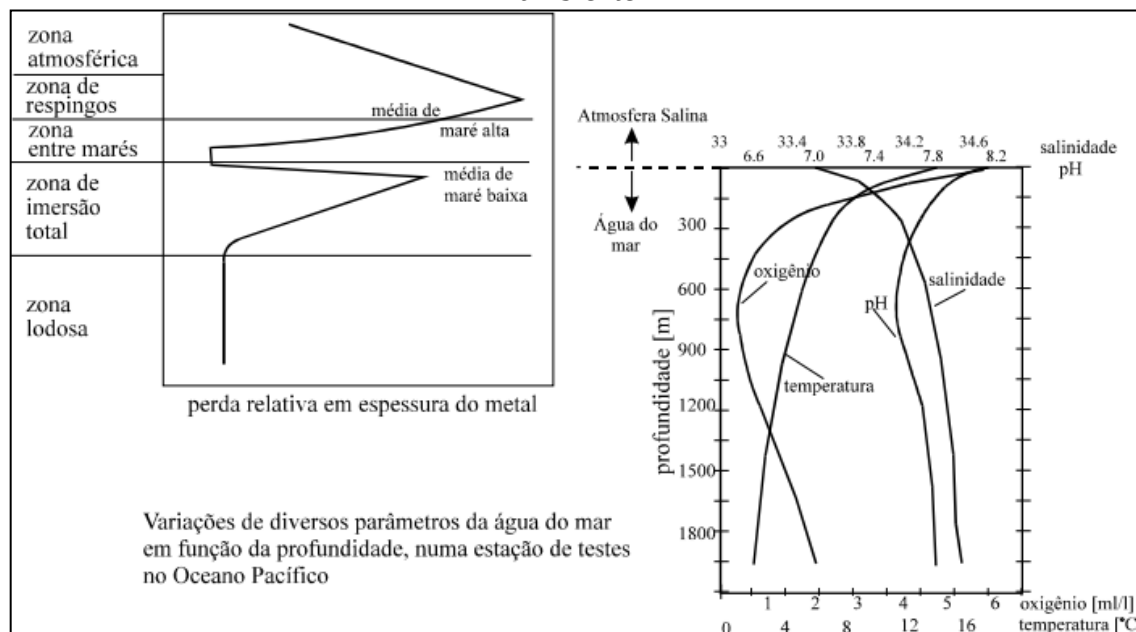


Fonte: Sica (2006).

A zona I corresponde a área anódica limite do ferro com a solução, os íons ferro reagem com íons hidróxidos para formar o hidróxido de ferro ($\text{Fe}(\text{OH})_2$). O hidróxido de ferro é um elemento transitório e se forma na superfície do material corroído. Na Zona II, ocorre a formação do óxido de ferro magnético (Fe_3O_4). Na Zona III, o Fe_3O_4 formado na zona II reage diretamente com o oxigênio, formando óxido de ferro hidratado ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) de coloração característica amarelo-avermelhada.

O local onde a estrutura ou equipamento se encontra é de extrema importância para a seleção do tipo de proteção ou de recobrimento superficial. Além da salinidade do local, diferenças de temperatura, pH, concentração de oxigênio, incidência de raios UV e choques físicos (como ondas quebrando na estrutura metálica de uma plataforma) afetam consideravelmente o efeito da corrosão. Essas diferentes zonas e as suas respectivas propriedades podem ser vistas na Figura 3 abaixo. É possível observar que a zona mais agressiva (de maior perda de material) é a zona de respingos.

Figura 3 - Perfis de corrosão para diferentes zonas de estruturas metálicas e características do ambiente



Fonte: Sica (2006).

Revestimentos não são a única forma de proteção contra ambientes corrosivos. Na zona de imersão total de estruturas, assim como em cascos de navio, é utilizado anodos de sacrifício. O objetivo deste tipo de proteção é definir um fluxo preferencial para que a corrosão ocorra através de um elemento metálico de menor potencial elétrico (menos nobre), evitando a corrosão de elementos estruturais.

Quanto a proteção por revestimento, várias funções podem ser atribuídas. Os tipos de revestimentos recomendados para as diferentes zonas podem ser encontrados na Norma da Petrobrás N-1374 - Revestimentos Anticorrosivos para Manutenção de Unidades Marítimas de Exploração e Produção e as condições de preparação de superfície para a aplicação dos revestimentos estão na Norma Petrobrás N-2037 - Pintura de Equipamentos Submersos em Água do Mar e ABNT 15488 - Pintura Industrial - Superfície Metálica para Aplicação de Tinta - Determinação do Perfil de Rugosidade;

2.2 TIPOS DE REVESTIMENTO

Existem diversos tipos de revestimentos e cada um possui uma utilização específica. A Norma Petrobrás N-1374 - Revestimentos Anticorrosivos para Manutenção de Unidades Marítimas de Exploração e Produção, divide as unidades marítimas em 3 zonas:

- a) Zona Submersa;

- b) Zona de transição;
- c) Zona atmosférica

Para unidades marítimas fixas deve ser pintado a zona de transição e zona atmosférica. Para as unidades marítimas móveis as três zonas devem ser pintadas. Independente do tipo de unidade marítima, toda zona submersa deve ter proteção catódica. A proteção catódica é a adição de um material que será consumido como anodo. Este material consumido é chamado de "material de sacrifício".

A norma N-1374 e a norma N-2037 - Pintura de Equipamentos Submersos em Água do Mar também sugerem os seguintes tipos de revestimento para cada uma das zonas:

- a) Zona Submersa;
 - a. Alternativa 1: Aplicar 2 ou 3 demãos de tinta epóxi sem solvente, tolerante a superfícies molhadas - conforme norma N-2680;
 - b. Alternativa 2: Aplicar 2 ou 3 demãos de tinta epóxi poliamida de alta temperatura - conforme norma N-2628¹;
 - c. Alternativa 3: Aplicar revestimento NORSOK - conforme norma M-501.
- b) Zona de transição;
 - a. Alternativa 1: Revestimento único com massa de epóxi poliamida de alta espessura - com camada de 1mm a 4mm, conforme Norma N-2630;
 - b. Alternativa 2: Aplicar 3 demãos de tinta epóxi sem solvente, tolerante a superfícies molhadas - conforme norma N-2680;
 - c. Alternativa 3: Aplicar única demão de tinta epóxi de alto desempenho
- c) Zona atmosférica
 - a. Alternativa 1: **Tinta de Fundo:** Aplicar 3 demãos de tinta epóxi, sem solvente, tolerante a superfícies molhadas - conforme norma N-2680. **Tinta de Acabamento:** Aplicar uma demão de poliuretano acrílico, conforme norma N-2677;
 - b. Alternativa 2: **Tinta de Fundo:** Aplicar demão única de tinta epóxi de alto desempenho. **Tinta de Acabamento:** Aplicar demão única tinta de acabamento a base de poliuretano, polisiloxano ou fluorpolímero.

Outras alternativas também se encontram nas normas. É importante ressaltar que tintas para zonas atmosféricas possuem pelo menos duas camadas de tinta diferente. Isso se deve, além de fatores estéticos, para proteção UV. Nestes casos, a tinta de fundo é a principal responsável por proteger a unidade marítima (estrutura ou equipamento) da corrosão, enquanto a tinta de acabamento evita a deterioração da camada inferior.

Segue abaixo alguns dos revestimentos citados.

2.2.1 Tinta de Etil - Silicato de Zinco - Alumínio

As informações referentes à essa tinta estão na Norma Petrobrás N-2231. É uma tinta bi-componente, sendo necessária a preparação dos componentes A (contendo zinco e alumínio) e B (contendo a solução de etil-silicato) antes da sua aplicação. O zinco funciona como proteção catódica neste tipo de revestimento

2.2.2 Tinta de Fundo Epóxi Pigmentada com Alumínio;

As informações referentes à essa tinta estão na Norma Petrobrás N-2288. É uma tinta bi-componente, sendo necessária a preparação dos componentes A (contendo resina epóxi e pasta de alumínio) e B (contendo um agente de cura a base de poliamina) antes da sua aplicação.

2.2.3 Tinta Epóxi - Fosfato de Zinco de Alta Espessura;

As informações referentes à essa tinta estão na Norma Petrobrás N-2630. É uma tinta bi-componente, sendo necessária a preparação dos componentes A (contendo resina epóxi e pasta de alumínio) e B (contendo um agente de cura a base de poliamida ou poliamina) antes da sua aplicação.

2.2.4 Tinta de Poliuretano Acrílico;

As informações referentes à essa tinta estão na Norma Petrobrás N-2677. É uma tinta bi-componente, sendo necessária a preparação dos componentes A (contendo resina acrílica poliidroxiada) e B (contendo um agente de cura a base de poliisocianato alifático) antes da sua aplicação.

2.2.5 Tinta Epóxi, sem Solventes, Tolerante a Superfícies Molhadas;

As informações referentes à essa tinta estão na Norma Petrobrás N-2680. É uma tinta bi-componente, sendo necessária a preparação dos componentes A (contendo resina epóxi) e B (contendo um agente de cura) antes da sua aplicação.

2.2.6 Tinta Epóxi “Novolac”

As informações referentes à essa tinta estão na Norma Petrobrás N-2912. A tinta epóxi "Novolac" é uma tinta bi-componente, sendo necessária a preparação dos componentes A (contendo resina epóxi) e B (contendo um agente de cura a base de poliamina) antes da sua aplicação. A tinta está especificada em três tipos:

- a) Tipo I, de cura térmica ou à temperatura ambiente;
- b) Tipo II, sem solventes, de cura à temperatura ambiente;
- c) Tipo III, sem solventes, de cura à temperatura ambiente, pigmentada com flocos de vidro ou cargas cerâmicas.

2.2.7 Metalização

A metalização é um tipo de revestimento especial que consiste no recobrimento por uma camada metálica. O tipo de metalização comum para equipamentos e estruturas marítimas é o de Aspersão Térmica de alumínio (TSA), zinco, ligas de zinco-alumínio e aços inoxidáveis. Os requisitos de preparação da superfície, requisitos de segurança, ensaio para validação do recobrimento, dentre outros podem ser encontrados na Norma Petrobrás N-2568 - Revestimentos Metálicos por Aspersão Térmica.

2.3 PREPARAÇÃO DE SUPERFÍCIE

A preparação de superfície é de extrema importância para garantir a qualidade da aplicação de revestimentos superficiais. O tipo de preparação vai depender, principalmente, do tipo de revestimento que será utilizado.

A preparação da superfície pode ser realizada de uma ou mais das seguintes maneiras:

1. Limpeza com pano seco;
2. Limpeza utilizando algum produto químico;
3. Jateamento;
4. Aquecimento;

Outros.

2.4 PREPARAÇÃO DO REVESTIMENTO

A preparação do revestimento é de extrema importância para a qualidade da aplicação do mesmo. O tipo de preparação vai depender do revestimento que será utilizado. Para alguns tipos de tinta, as vezes apenas a agitação manual é necessária, embora normalmente seja recomendada pelos fabricantes a utilização de agitadores mecânicos para a homogeneização da mistura, conforme Figura 4 abaixo:

Figura 4: Mistura de tintas: Componente A e B com agitador pneumático



Fonte: Foto tirada pelo próprio autor (2014).

Além do tempo entre a preparação e utilização da tinta, também é importante manter a proporção de componentes segundo determinação do fabricante. A correta proporção é fundamental para que as reações que garantirão a adesão das camadas de tinta e a proteção da mesma ocorram.

Para algumas tintas, por possuir um tempo de cura muito curto, se faz necessário um método de aplicação específico. Alguns aplicadores de tinta misturam os componentes A e B

durante a aplicação. Para que ocorra uma boa aplicação, é importante que haja duas bombas, uma para cada componente, e que cada bomba possua a vazão a fim de manter a proporção dos componentes determinada pelo fabricante. Na Figura 5, é possível visualizar uma bomba de aplicação de tinta com vazões diferentes nos componentes A e B.

Figura 5: Equipamento de aplicação de tinta *airless* bicomponente. Bombas com diferença de vazão



Fonte: Próprio autor (2014).

2.5 TIPOS DE TESTE

Vários são os testes que podem ou devem ser aplicados para verificação de corrosão e revestimentos. Alguns testes, como o de salinidade e de rugosidade, devem ser realizados antes da aplicação do revestimento. Os testes de rugosidade são utilizados a fim de garantir uma boa aderência e eficiência do revestimento, sendo a rugosidade requerida da superfície determinada pelo tipo de revestimento que será utilizado. Outros testes, como o de Salt Spray e Pull-Off, são utilizados após a aplicação de revestimentos para verificar sua eficácia.

2.5.1 Teste de Salinidade

O teste de salinidade é realizado antes da aplicação do revestimento. Como o meio eletrolítico é necessário para a célula de corrosão, a verificação da salinidade da superfície tende a garantir uma maior proteção da peça analisada mesma com a presença de umidade.

Um dos testes de salinidade mais utilizados é o Kit Bresle. A sua metodologia de aplicação e cálculo pode ser encontrada nas normas ISO 8502-6 e ISO 8502-9. A Figura 6 é um kit Bresle que é comercializado para a realização do teste.

Figura 6: Kit Bresle, composto por solução de extração, seringa, agulhas, béquer, célula de teste de borracha, condutivímetro e solução padrão de condutividade.



Fonte: Tecnoferramentas (2018).

Neste tipo de teste, é medido a condutividade da solução de extração depois de entrar em contato com a superfície que será testada e comparada com a condutividade da solução padrão.

O teste de salinidade é um teste não destrutivo, realizado nas superfícies que receberão camadas de revestimento superficial.

2.5.2 Teste de *Salt Spray*

Figura 7 - Máquina de Salt Spray da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá



Fonte: Próprio autor (2014).

O teste de *Salt Spray* (ou de névoa Salina) é utilizado para ver o comportamento do corpo de prova no ambiente salino. Variações deste teste variam tempos de névoa salina e períodos seco, variação de temperatura e exposição à raios UV. Para o teste de *Salt Spray* é realizado de acordo com a norma ASTM B-117-2016.

2.5.3 Teste de *Pull-Off*

O teste de *Pull-Off* é utilizado para verificar a aderência entre as camadas de tinta. O teste deve ser realizado conforme as normas ABNT NBR 15877 ou com ASTM D4541. Para a realização deste teste, um pino é colado na superfície revestida. Um extrator faz um esforço de tração para arrancar o pino e verifica-se a tipo de falha, além do valor de resistência a tração do revestimento. A Figura 8 abaixo mostra um corpo de prova antes do teste, com os pinos colados no revestimento.

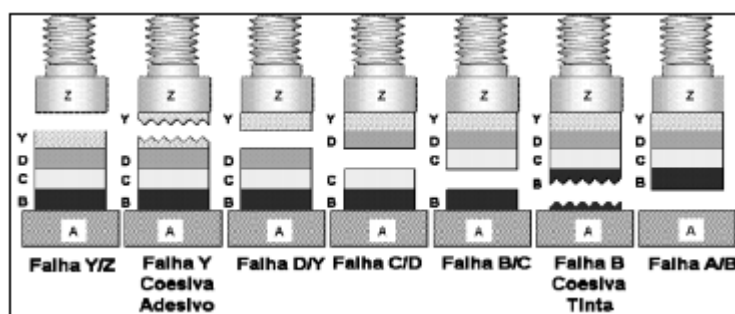
Figura 8: Teste de adesão - Pull Off



Fonte: Próprio autor (2014).

O tipo de falha do revestimento é analisado. É esperado que a aderência entre as camadas seja alta, causando uma falha coesiva. A tensão mínima a tração admissível vai depender, por norma, do local onde o revestimento será usado, conforme Tabela 2. A Figura 9 abaixo mostra os diferentes tipos de falhas, segundo a norma ABNT NBR 157877. O ideal é que ocorra falha coesiva (dentro da mesma camada), sinalizando uma boa aderência entre as camadas.

Figura 9 - Tipos de falhas de aderência



Fonte: ABNT NBR 157877 (2010).

A fim de facilitar a identificação do tipo de falha, recomenda-se que seja utilizada tintas de cores diferentes nas diferentes camadas do revestimento.

Tabela 2 - Tabela da norma N-13 - Requisitos técnicos para Serviço de Pintura - para a Norma N-1374 - Revestimentos Anticorrosivos para Manutenção de Unidades Marítimas de Exploração e Produção.

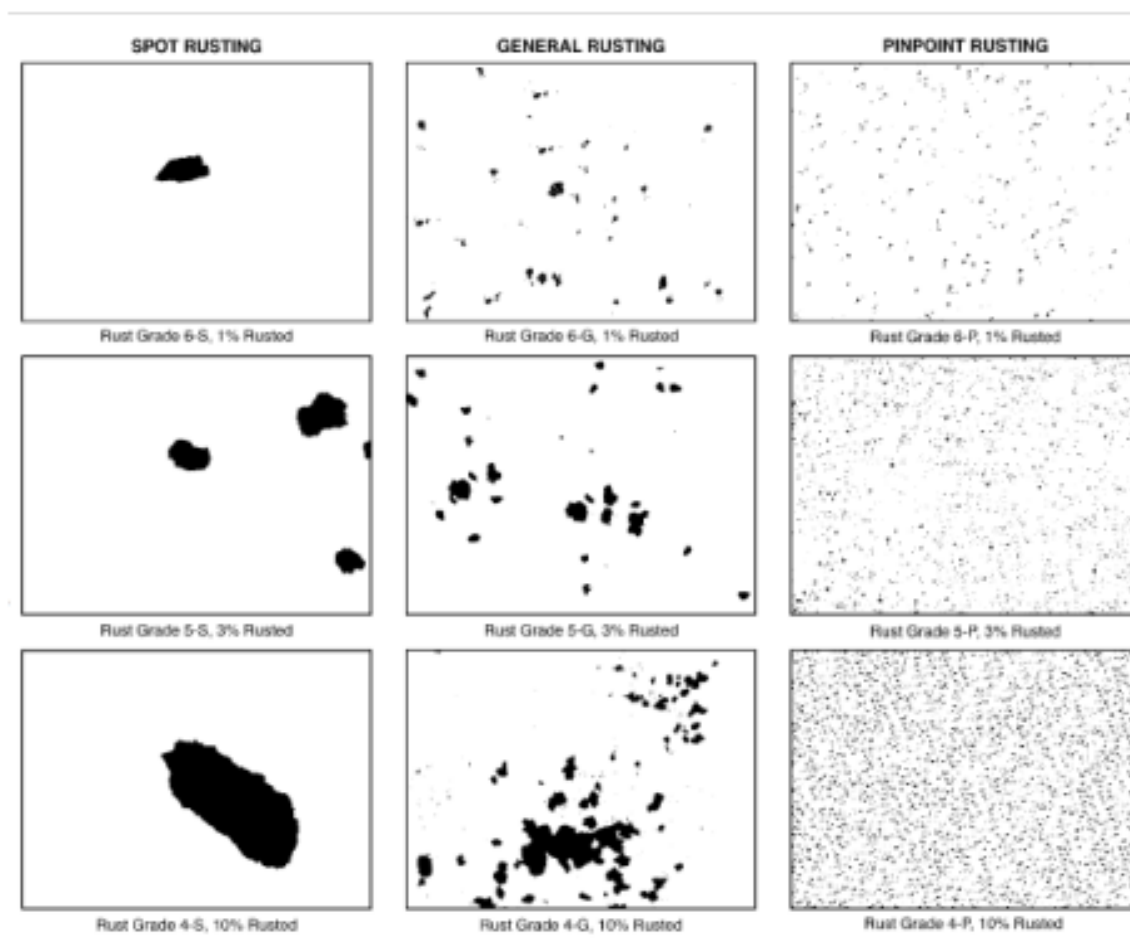
Norma PETROBRAS	Condição	Esquema de pintura (norma PETROBRAS)	Tensão mínima de tração (MPa)
N-1374	Zona de transição alternativa B	- 1a demão: N-2680 (150 µm); - 2a demão: N-2680 (150 µm); - 3a demão: N-2680 (150 µm).	15
	Zona atmosférica temperatura ambiente até 80 °C	- 1a demão: N-2680 (150 µm); - 2a demão: N-2680 (150 µm); - 3a demão: N-2677 (60 µm).	15
	Zona atmosférica - temperatura entre 80 °C a 150 °C	- 1a demão: N-2912 tipo II (175 µm); - 2a demão: N-2912 tipo II (175 µm).	15
	Zona atmosférica - temperatura entre 150 °C a 500 °C	- Demão única: N-2231 (100 µm).	10
	Piso antiderrapante (NOTA 1)	- 1a demão: N-2680 (150 µm); - 2a demão: N-2680 (150 µm); - 3a demão: tinta antiderrapante (500 µm).	15
	Pintura interna de tanque de carga, lastro e “slop”	- 1a demão: N-2680 (150 µm); - 2a demão: N-2680 (150 µm); - 3a demão: N-2680 (150 µm).	15
	Pintura interna de tanque de água potável	- 1a demão: tinta certificada (150 µm); - 2a demão: tinta certificada (150 µm).	15

Fonte: N-1374 Petrobras (2016).

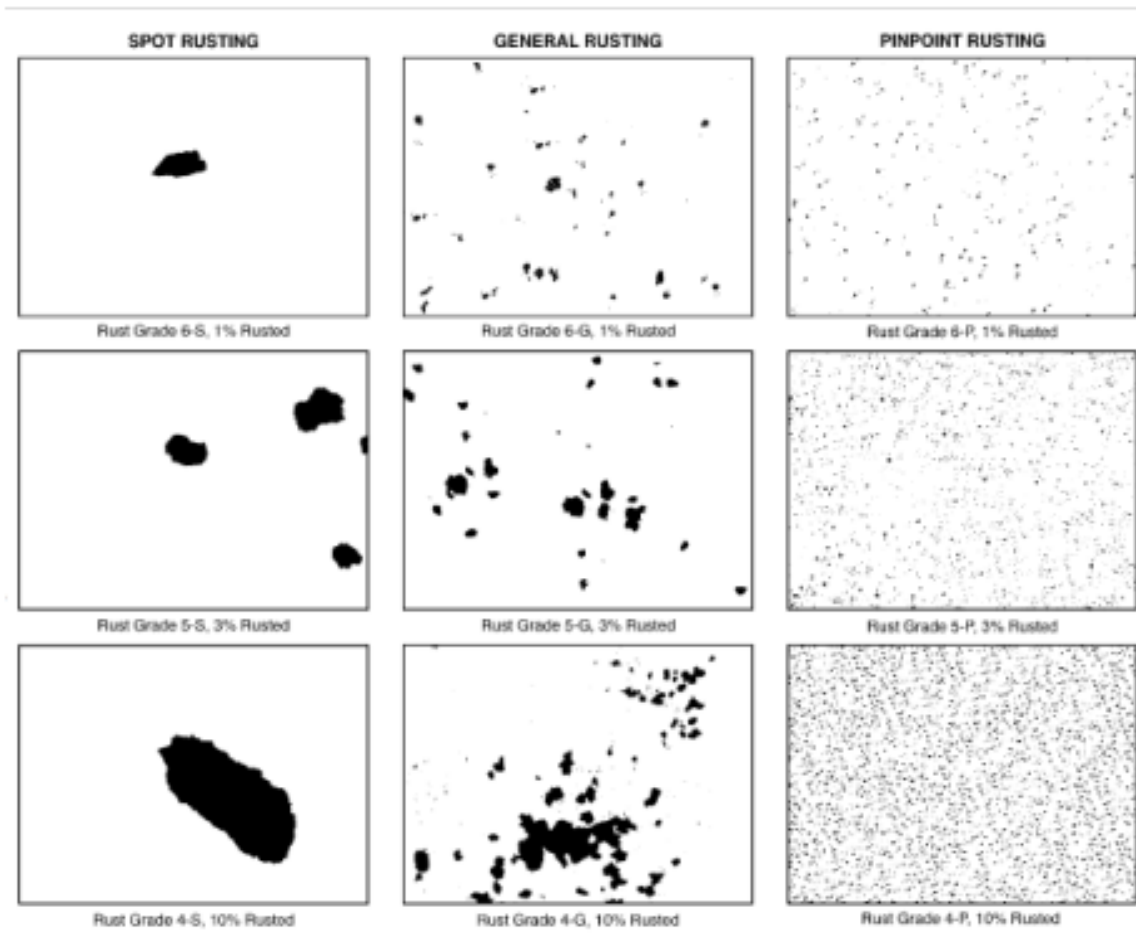
2.5.4 Ensaio Visual

Existem vários tipos de ensaio visual. A norma D610-08 - *Standard Practice for Evaluating Degree of Rusting on Painted Steel Surfaces* é amplamente utilizada para determinar o grau de degradação da pintura através do ensaio visual.

Para o início do teste, primeiro deve-se selecionar a área que será avaliada. É determinado o tipo de corrosão e as porcentagens, conforme Tabela 3: Escala e Descrição da corrosão, conforme norma ASTM D610), Figura 10, Figura 11: Exemplos de porcentagem de área com corrosão, segundo norma ASTM D610. de 1,0% a 10%



e Figura 11: Exemplos de porcentagem de área com corrosão, segundo norma ASTM D610. de 1,0% a 10%



Fonte: ASTM D610 (2008).

Figura 12. Apenas a área corroída deve ser considerada, por isso é importante limpar a área que será avaliada antes da inspeção.

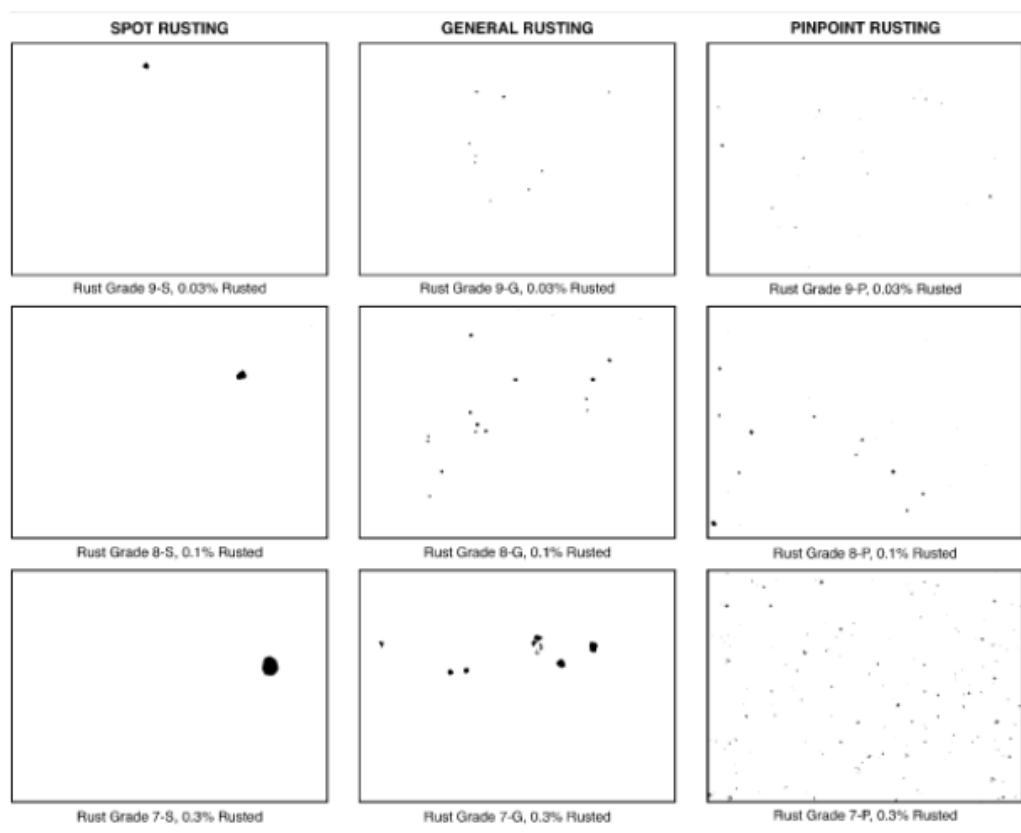
A área avaliada vai possuir um grau de corrosão em uma escala de 0 a 10 e uma classificação entre S (Spot), G (General), P (Pinpoint) ou H (Hybrid), sendo a última utilizada quando mais de um tipo de corrosão ocorre na superfície.

Tabela 3: Escala e Descrição da corrosão, conforme norma ASTM D610

Grau de oxidação	Percentual de camada oxidada	Padrões visuais		
		Spot(s)	Geral (G)	Pinpoint (P)
10	Menor ou igual a 0,01 por cento	Nenhuma		
9	Maior que 0,01 por cento e até 0,03 por cento	9-S	9-G	9-P
8	Maior que 0,03 por cento e até 0,1 por cento	8-S	8-G	8-P
7	Maior que 0,1 por cento e até 0,3 por cento	7-S	7-G	7-P
6	Maior que 0,3 por cento e até 1,0 por cento	6-S	6-G	6-P
5	Maior que 1,0 por cento e até 3,0 por cento	5-S	5-G	5-P
4	Maior que 3,0 por cento e até 10,0 por cento	4-S	4-G	4-P
3	Maior que 10,0 por cento e até 16,0 por cento	3-S	3-G	3-P
2	Maior que 16,0 por cento e até 33,0 por cento	2-S	2-G	2-P
1	Maior que 33,0 por cento e até 50,0 por cento	1-S	1-G	1-P
0	Maior que 50 por cento	Nenhuma		

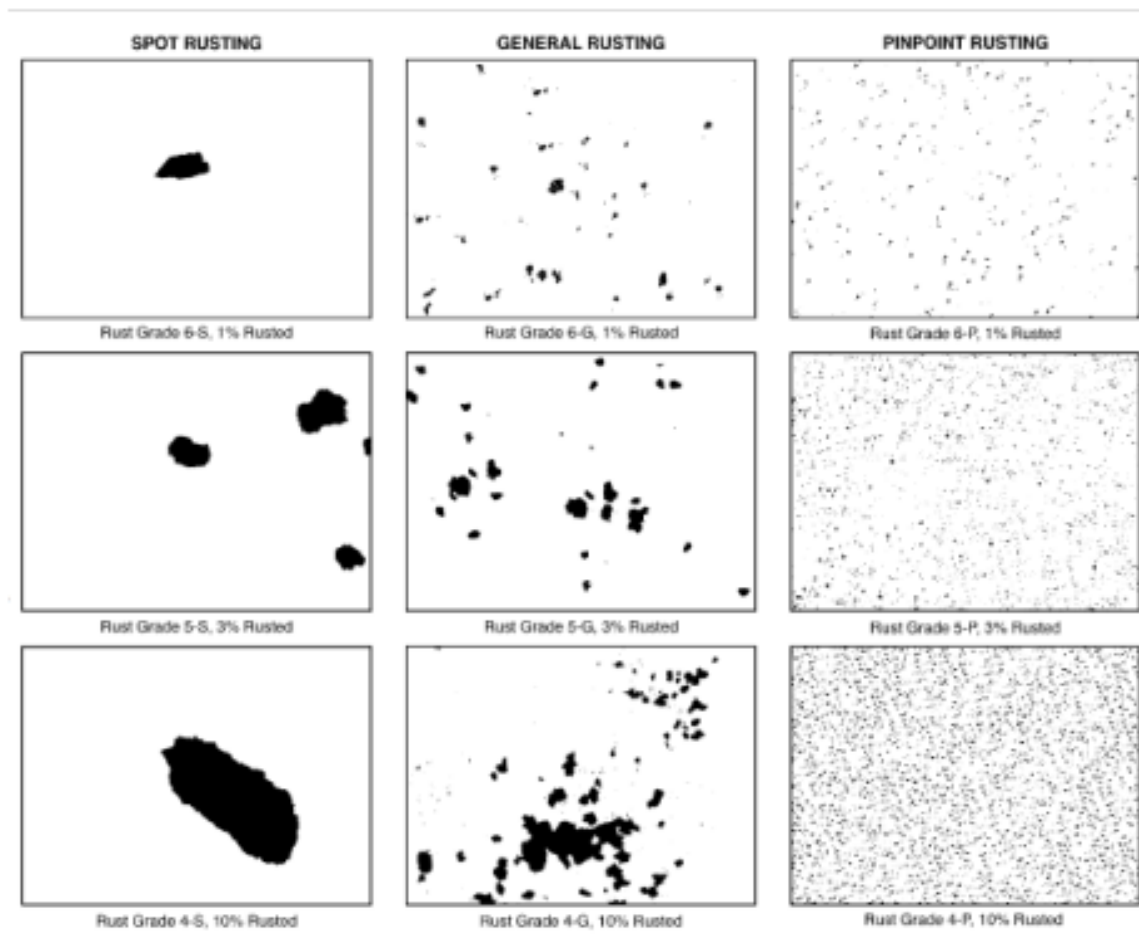
Fonte: Norma ASTM D610 (2008).

Figura 10: Exemplos de porcentagem de área com corrosão, segundo norma ASTM D610. de 0,03% a 0,3%



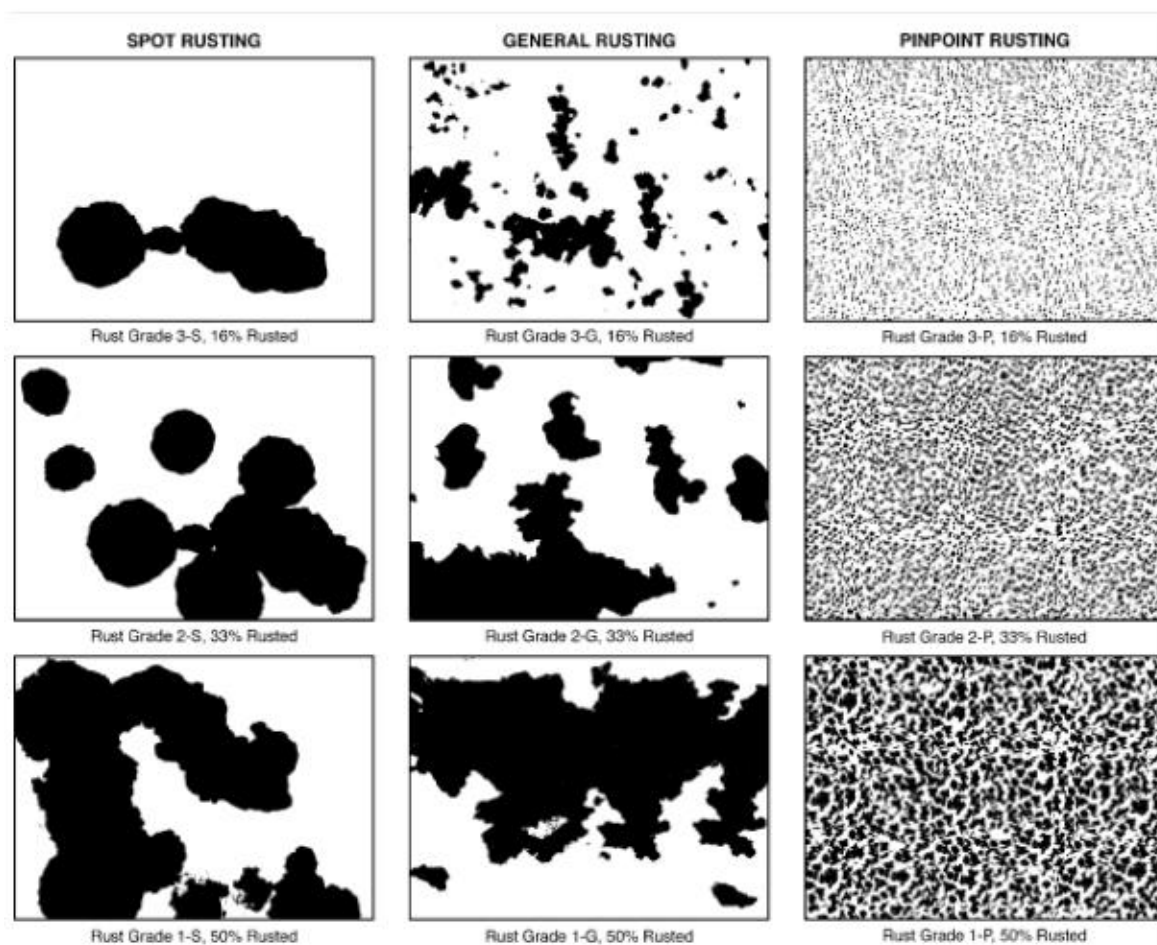
Fonte: ASTM D610 (2008).

Figura 11: Exemplos de porcentagem de área com corrosão, segundo norma ASTM D610. de 1,0% a 10%



Fonte: ASTM D610 (2008).

Figura 12: Exemplos de porcentagem de área com corrosão, segundo norma ASTM D610. de 16% a 50%



Fonte: ASTM D610 (2008).

3 METODOLOGIA

3.1 EQUIPAMENTO DE SALT SPRAY

Para a realização dos testes, foi utilizada o ensaio de Salt Spray, seguindo as normas ASTM B117-11 - *Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus* e ISO 9227 - *Corrosion tests in artificial atmospheres — Salt spray tests*. O equipamento utilizado foi uma máquina Equilam - SS600 e que está disponível no Laboratório de Condicionamento Ambiental do Departamento de Materiais e Tecnologia da Faculdade de Engenharia da UNESP, campus Guaratinguetá. As especificações da câmara se encontram Tabela 4: Especificações técnicas da câmara de corrosão Salt Spray.

Tabela 4: Especificações técnicas da câmara de corrosão Salt Spray

Especificações Técnicas				
Modelos	SS600e	SS1000e	SS1300e	SS3000e
Faixa de temperatura do Gabinete Interno	Temp. Ambiente +5°C até 55°C			
Faixa de temperatura do Saturador	Temp. Ambiente até 74°C			
Tensão de operação 220 Vac – 50/60 Hz	25 A	32 A	40 A	48 A
Resolução dos controladores da temperatura da Câmara e do Saturador	0,1°C			
Sensores de temperatura	Bulbo Inox 316 – protegido galvanicamente – PT 100 – 3 fios.			
Homoqeneidade da temperatura da câmara e do Saturador	+/- 0,5°C			
Coleta de névoa	1,5 +/- 0,5 ml/hora em uma média de 16 horas de ensaio contínuo.			
Peso Aproximado sem embalagem	165 kg	210 kg	280 kg	550 kg
Volume total (útil) de ensaio (litros)	600	1.000	1.300	3.000
Dimensões Externas em mm (CxLxA)	1460 x 1100 x 1440	1870 x 1225 x 1650	2420 x 1150 x 1700	3400 x 1600 x 1800
Dimensões Internas em mm (CxLxA)	820 x 685 x 760	1190 x 820 x 830	1400 x 850 x 850	2080 x 1080 x 1000
Outras dimensões sob consulta. (Volumes útil de ensaio)				

Fonte: Equilam (2018).

3.2 CORPOS DE PROVA

Para a comparação de revestimentos offshore, foram produzidos 9 corpos de prova de aço SAE 1010 com dimensões e revestimentos conforme Tabela 5. As espessuras de camada que foram utilizadas se encontram na Tabela 6. Na figura 13 é a foto dos corpos de prova antes de serem inseridos na câmara para a realização do teste de *Salt Spray*.

Tabela 5: Dimensões dos corpos de prova com o tipo de tinta utilizada

Cp	Comprimento	Largura	Espessura	Tinta
CP 01	150	100	4	DURA PLATE 301-L
CP 02	150	100	4	DURA PLATE 301-L
CP 03	150	100	4	DURA PLATE 301-L
CP 04	200	100	1	PRIMER NIVELANTE / POLANE MIX
CP 05	200	100	1	MONOCOAT
CP 06	200	100	1	PRIMER NIVELANTE / POLANE MIX
CP 07	200	100	1	MONOCOAT
CP 08	200	100	6	PRIMER NIVELANTE / POLANE MIX
CP 09	200	100	6	MONOCOAT

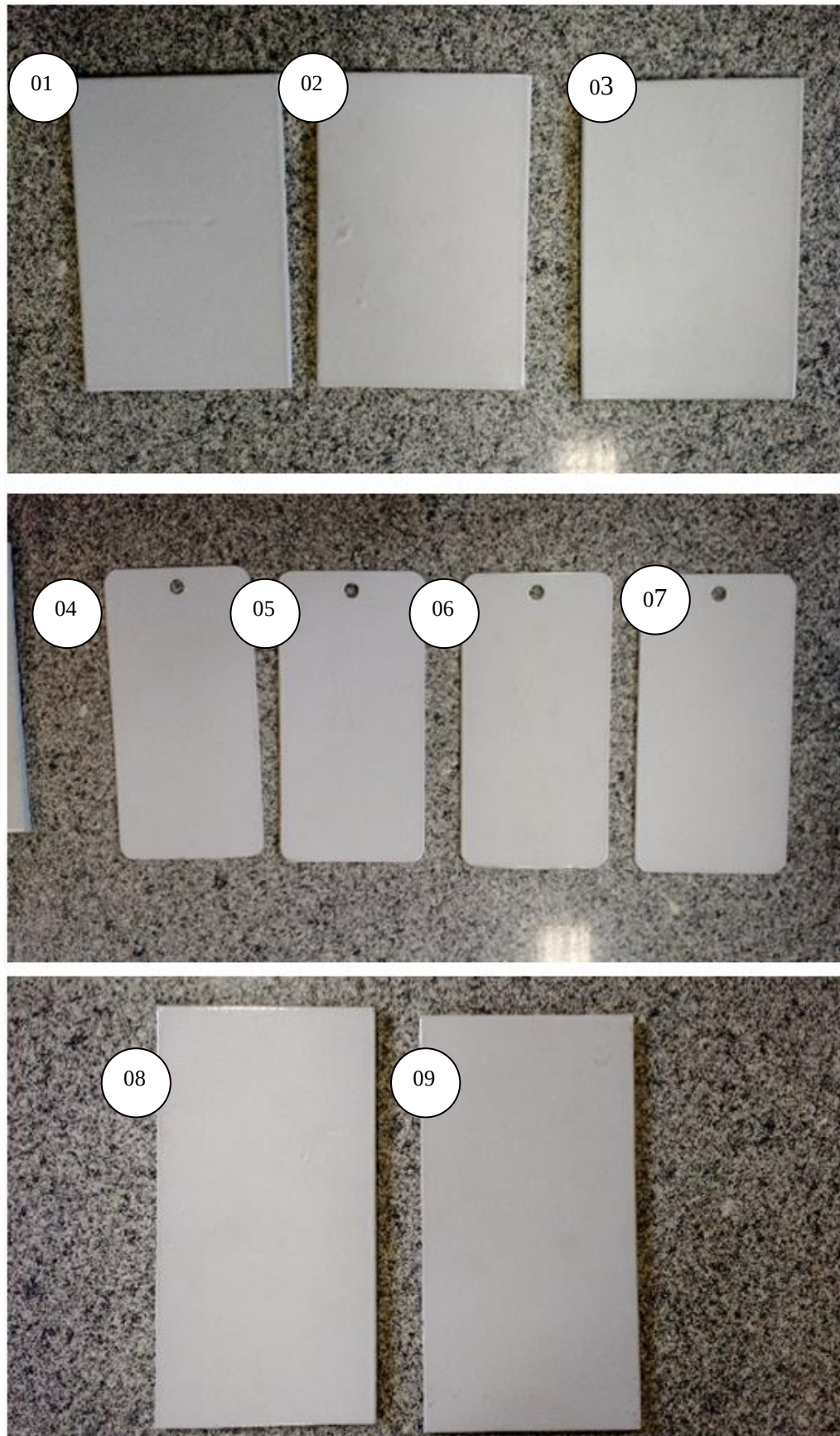
Fonte: Próprio autor (2014).

Tabela 6: Espessura de camada dos diferentes corpos de prova

ESPESSURA CAMADA DE TINTA DOS CORPOS DE PROVA EM MICROMETROS									
	CP 01	CP 02	CP 03	CP 04	CP 05	CP 06	CP 07	CP 08	CP 09
	442	688	488	123	265	214	225	162	222
	614	582	607	188	169	116	167	166	213
	574	547	592	194	262	228	168	156	184
	692	720	547	111	169	245	209	200	250
	654	563	492	131	209	145	193	176	264
	644	559	538	176	260	150	241	143	217
	618	605	521	152	206	229	232	257	193
	583	702	515	136	259	142	207	199	195
	682	591	525	180	168	197	226	183	183
	641	572	588	148	229	138	254	161	292
MÉDIA	614,4	612,9	541,3	153,9	219,6	180,4	212,2	180,3	221,3

Fonte: Próprio autor (2014).

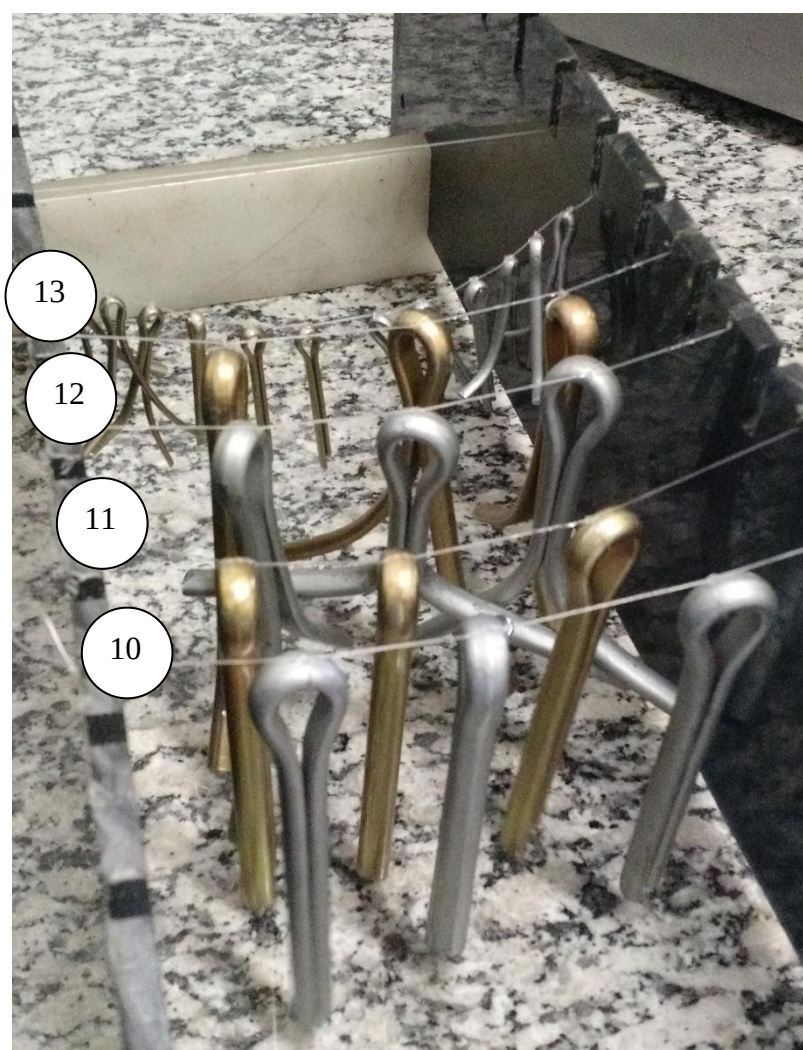
Figura 13: Corpos de prova antes do início dos testes



Fonte: Próprio autor (2014).

Foram ensaiadas cupilhas comerciais. Para uma medição mais relevante de massa, cada conjunto de cupilhas foi tratada como um corpo de prova. Foram ensaiadas dois tipos de revestimento, sendo dois deles em seu estado original e dois deformados, conforme Figura 14.

Figura 14: Cupilhas utilizadas para ensaio de Salt Spray



Fonte: Próprio autor (2014).

Por possuírem massa bem menor do que as chapas utilizadas, os pesos são referentes à um conjunto de cupilhas. As cupilhas menores não foram pesadas, apenas foi verificado o aspecto visual ao fim dos experimentos.

Tabela 7: Informações dos corpos de prova de revestimentos onshore

Nº	Tamanho	Estado	Peso [g]
10	Grande	Original	143,17
11	Grande	Original	144,18
12	Grande	Deformado	144,02
13	Grande	Deformado	144,11

Fonte: Próprio autor (2014).

3.3 REALIZAÇÃO DOS EXPERIMENTOS:

Os corpos de prova foram identificados e posicionados dentro da câmara de testes de modo que ambas as superfícies ficassem expostas à atmosfera, conforme Figura 15 abaixo:

Figura 15: Posição dos corpos de prova dentro da câmara de Salt Spray



Fonte: Próprio autor (2014).

A câmara foi submetida a exposição contínua de atmosfera salina com concentração de 5 partes de Cloreto de Sódio PA com no mínimo de 99% de pureza e 95 partes de água na

pressão atmosférica de Guaratinguetá e temperatura de 35° C, conforme especificado na norma ASTM B117:2011. A pressão manométrica da câmara era de 10 psi.

Os corpos de prova eram constantemente pesados com o auxílio de uma balança analítica a fim de verificar a variação de peso dos mesmos. Ao fim do processo, os corpos de prova também foram avaliados conforme norma ASTM D610 de aspecto visual.

O teste teve início quando o horímetro estava em 9289,02 horas e se encerrou com 9953,2 horas. É importante salientar que este foi o tempo de exposição com a máquina em funcionamento, gerando a atmosfera.

Figura 16: Mostrador da máquina de Salt Spray



Fonte: Próprio autor (2014).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os corpos de prova tiveram a massa medida conforme as Tabela 8 e 10, e os tempos que apareciam no horímetro foram marcados. Nas tabelas a seguir é possível verificar a variação de massa dos corpos de prova em função do tempo. O tempo que aparece nas tabelas é a diferença entre a hora que era marcada e o horário inicial do teste.

As massas das cupilhas também foram medidas e verificada a variação. É importante salientar que cada corpo de prova era um conjunto de cupilhas e não uma única, conforme descrito anteriormente.

Os corpos tiveram o seu aspecto visual analisado conforme a norma ASTM D610.

Tabela 8: Massa em gramas dos corpos de prova de revestimento *offshore* pelo tempo de exposição em ambiente de atmosfera salina

Horas	0,0	238,6	332,1	451,4	570,7	664,2
CP 01	335,12	335,07	335,06	335,00	334,98	334,97
CP 02	342,77	342,81	342,69	342,55	342,59	342,67
CP 03	342,92	342,91	342,77	342,69	342,56	342,51
CP 04	124,17	124,17	124,19	124,34	124,36	124,36
CP 05	126,14	126,13	126,14	126,27	126,28	126,19
CP 06	124,18	124,19	124,20	124,33	124,26	124,28
CP 07	125,61	125,61	125,59	125,65	125,68	125,62
CP 08	747,6	747,1	747,5	747,7	747,7	747,6
CP 09	762,6	762,1	762,4	762,5	762,5	762,5

Fonte: Próprio autor (2014).

Tabela 9: Massa em gramas dos corpos de prova de revestimento *onshore* pelo tempo de exposição em ambiente de atmosfera salina

Horas	0	238,6	332, 1	451,4	570,7	664,2
CP 10	143,17	143,45	143,60	143,52	143,08	142,69
CP 11	144,18	144,23	144,35	144,56	144,56	144,60
CP 12	144,02	144,29	145,40	145,62	145,66	145,67
CP 13	144,11	145,19	144,31	144,68	144,77	144,92

Fonte: Próprio autor (2014).

Para a melhor visualização, foi verificado a variação de massa dos corpos de prova (conforme Tabela 10 e 11). É importante salientar que a balança analítica utilizada tem precisão de 0,005 g para corpos de prova com menos de 500 g e 0,1 g para corpos de prova maiores (CP 08 e CP 09).

Tabela 10: Variação mássica em gramas dos corpos de prova em relação ao peso original para os revestimentos *offshore*

Horas	0,0	238,6	332,1	451,4	570,7	664,2
CP 01	0	-0,05	-0,07	-0,13	-0,15	-0,15
CP 02	0	0,04	-0,08	-0,22	-0,18	-0,11
CP 03	0	-0,01	-0,15	-0,23	-0,36	-0,42
CP 04	0	0,00	0,02	0,16	0,18	0,18
CP 05	0	-0,02	-0,01	0,13	0,13	0,04
CP 06	0	0,01	0,01	0,15	0,08	0,10
CP 07	0	0,00	-0,02	0,04	0,07	0,01
CP 08	0	-0,50	-0,10	0,10	0,10	0,00
CP 09	0	-0,50	-0,20	-0,10	-0,10	-0,10

Fonte: Próprio autor (2014).

Tabela 11: Variação mássica em gramas dos corpos de prova em relação ao peso original para os revestimentos *onshore*

Horas	0,0	238,6	332,1	451,4	570,7	664,2
CP 10	0	0,28	0,43	0,35	-0,08	-0,48
CP 11	0	0,05	0,17	0,38	0,38	0,42
CP 12	0	0,28	1,38	1,61	1,64	1,65
CP 13	0	1,07	0,19	0,56	0,65	0,80

Fonte: Próprio autor (2014).

A variação mássica encontrada nos corpos de prova com revestimento offshore é próximo à imprecisão da própria balança utilizada como instrumento de medição, portanto a variação não é significativa. Com exceção da variação que ocorre na primeira medida dos corpos de prova CP 08 e CP 09. Por se tratar de pontos fora da curva e fora da tendência dos valores, esses dados podem ser referentes a problemas de medição. Como estes corpos eram pesados em uma balança a parte (por possuírem mais de 500 g), o erro afetou apenas eles.

Por serem utilizados corpos de prova de diferentes dimensões e pesos, é interessante a utilização da variação mássica percentual Conforme Tabela 12:

Tabela 12: Variação mássica percentual dos corpos de prova em relação ao peso original para os revestimentos *offshore*

Horas	0,0	238,6	332,1	451,4	570,7	664,2
CP 01	0,00%	-0,02%	-0,02%	-0,04%	-0,04%	-0,05%
CP 02	0,00%	0,01%	-0,02%	-0,06%	-0,05%	-0,03%
CP 03	0,00%	0,00%	-0,04%	-0,07%	-0,11%	-0,12%
CP 04	0,00%	0,00%	0,01%	0,13%	0,15%	0,15%
CP 05	0,00%	-0,01%	-0,01%	0,10%	0,11%	0,03%
CP 06	0,00%	0,00%	0,01%	0,12%	0,07%	0,08%
CP 07	0,00%	0,00%	-0,02%	0,03%	0,06%	0,01%
CP 08	0,00%	-0,07%	-0,01%	0,01%	0,01%	0,00%
CP 09	0,00%	-0,07%	-0,03%	-0,01%	-0,01%	-0,01%
Média	0,00%	-0,02%	-0,01%	0,02%	0,02%	0,01%

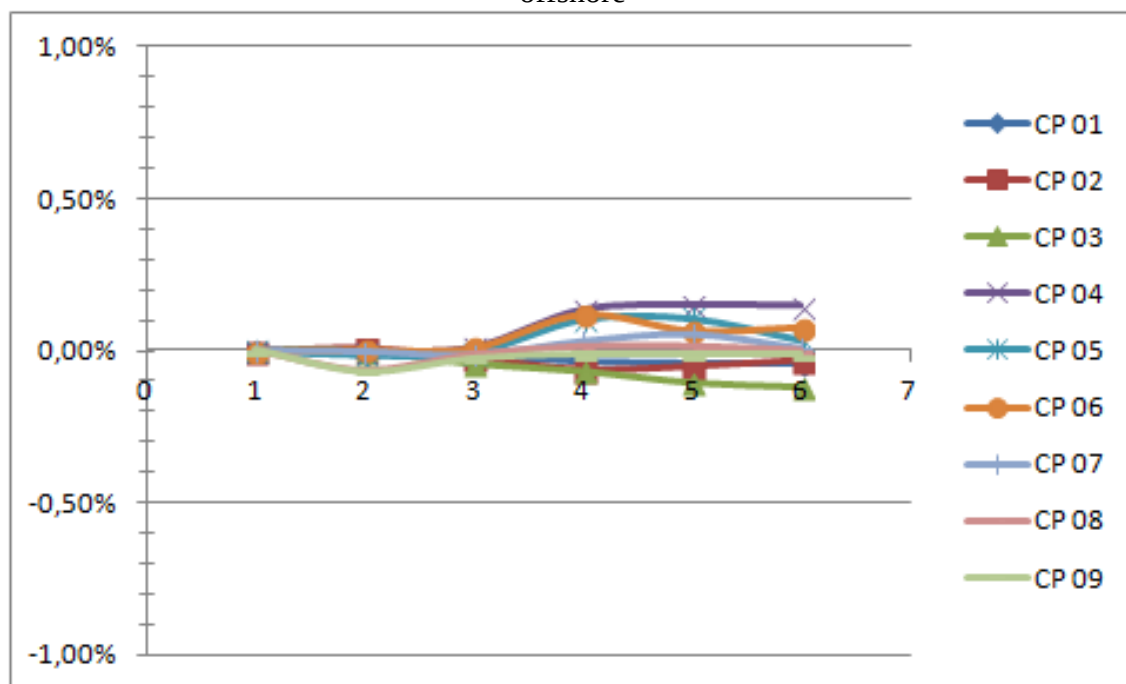
Fonte: Próprio autor (2014).

Tabela 13: Variação mássica percentual dos corpos de prova em relação ao peso original para os revestimentos *onshore*

Horas	0,0	238,6	332,1	451,4	570,7	664,2
CP 10	0,00%	0,20%	0,30%	0,24%	-0,06%	-0,34%
CP 11	0,00%	0,04%	0,12%	0,26%	0,26%	0,29%
CP 12	0,00%	0,19%	0,96%	1,12%	1,14%	1,15%
CP 13	0,00%	0,75%	0,14%	0,39%	0,45%	0,56%
Média	0,00%	0,29%	0,38%	0,50%	0,45%	0,41%

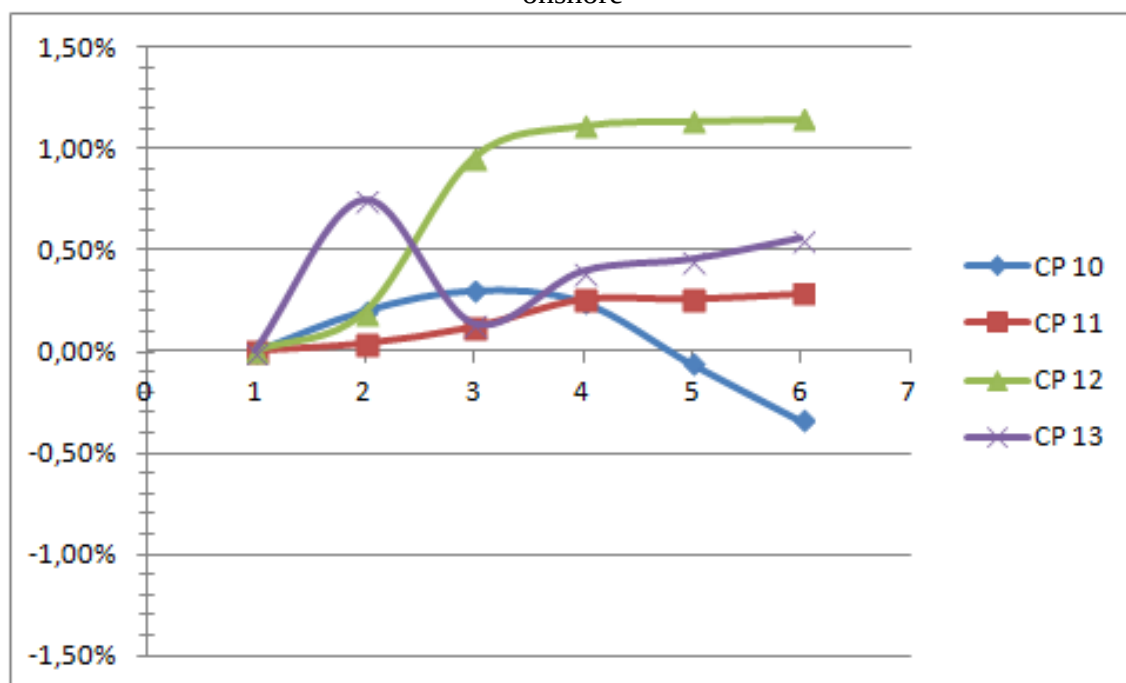
Fonte: Próprio autor (2014).

Figura 17: Gráfico da variação percentual do peso dos corpos de prova com revestimentos offshore



Fonte: Próprio autor (2014).

Figura 18: Gráfico da variação percentual do peso dos corpos de prova com revestimentos onshore

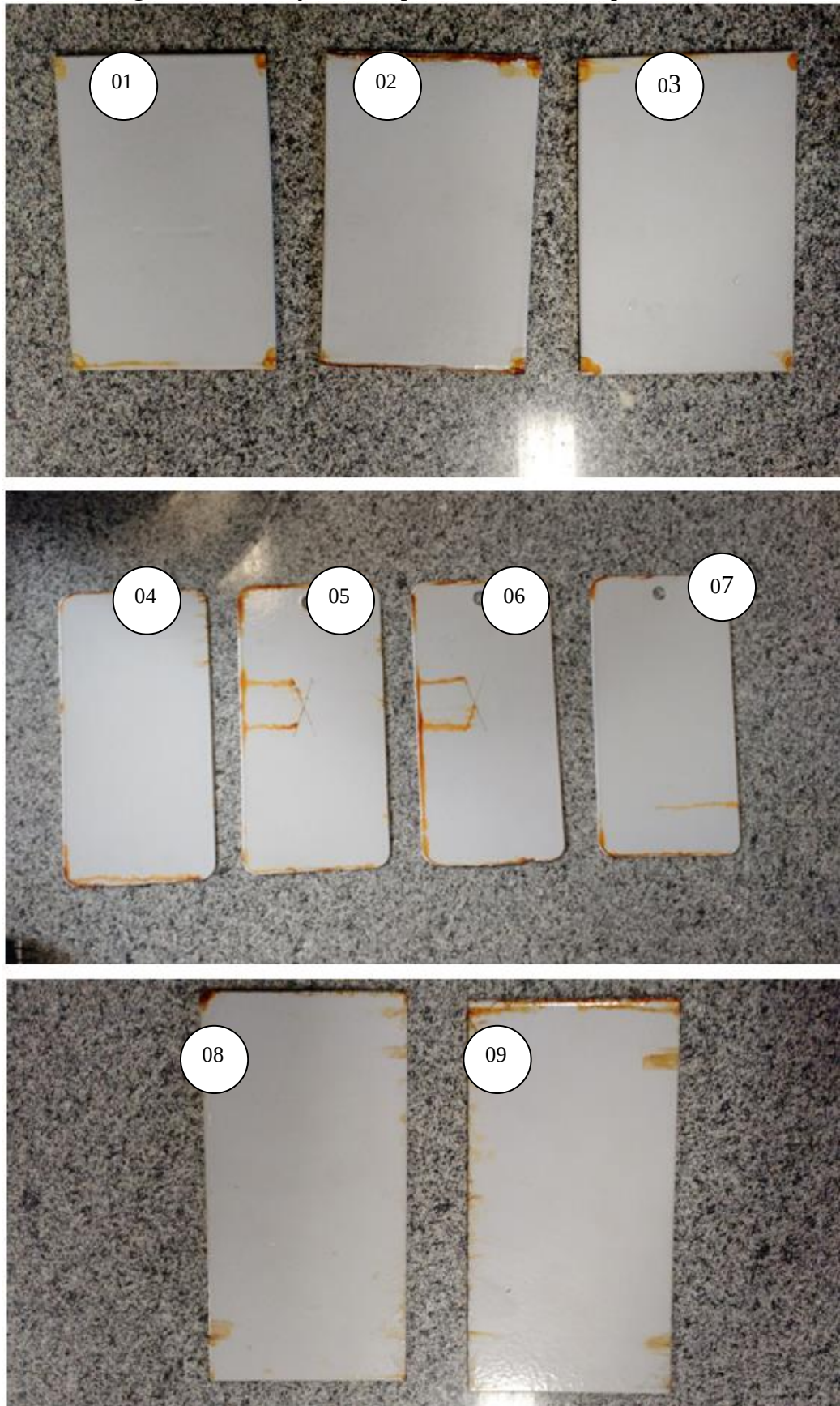


Fonte: Próprio autor (2014).

O aumento do peso para os revestimentos *onshore* pode ser ao acúmulo de átomos de oxigênio no metal base através do processo de oxidação. A perda de massa que ocorre no

corpo de prova 10 é análogo a fragilização que ocorre com máquinas, equipamentos e estruturas em áreas marítimas, perdendo massa.

Figura 19: Avaliação das superfícies corroídas após os teste



Fonte: Próprio autor (2014).

Figura 20: Avaliação das cupilhas após os testes



Fonte: Próprio autor (2014).

Os revestimentos avaliados nos corpos de prova de 01 a 09 foram aprovados, pois não houveram perdas de massa significativa.

5 CONCLUSÃO

Embora o ensaio de Salt Spray seja amplamente utilizado, ele acaba não se mostrando adequado ao estudo da corrosão em revestimentos de alta performance, como é o caso de revestimentos para equipamentos *offshore*.

Para futuros trabalhos, recomenda-se a utilização de equipamentos com ciclos de raios UV e com choque mecânico, além da atmosfera salina, a fim de simular condições mais severas para os revestimentos.

REFERENCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15877**: pintura industrial: ensaio de aderência por tração. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

AGENCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis**. Rio de Janeiro: ANP, 2016.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D4541-17**: standard test method for pull-off strength of coatings using portable adhesion testers. West Conshohocken: ASTM, 2017.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D610-8**: standard practice for evaluating degree of rusting on painted steel surfaces. West Conshohocken: ASTM, 2008.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **B117-18**: standard practice for operating salt spray (fog) apparatus. West Conshohocken: ASTM, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICA. **NBR 7348**: pintura industrial – preparação de superfície de aço com jato abrasivo e hidrojateamento, Rio de Janeiro. ABNT, 2017.

BELÉM, M. J. X.; FALS, H. C.; CAMELLO, C R. Avaliação da resistência à oxidação de camadas de ligação de revestimentos utilizados em barreiras térmicas. **Soldagem & Inspeção**. v. 20, n. 4, p. 479-488, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0104-9224/SI2004.14>. Acesso em: 15 dez. 2018.

BRAMBILLA, K. J. C. **Investigação do grau de corrosividade sobre materiais metálicos das redes aéreas de distribuição de energia elétrica (rd) da região metropolitana de Salvador-BA**. Orientador: Prof. Dr. Kleber Franke Portella. 2009. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciências dos Materiais) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2009.

GENTIL, V. **Corrosão**. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007. 370 p.

HEIDERSBACH, R. **Metallurgy and corrosion control in oil and gas production**. Nova Jersey: John Wiley & Sons, 2010. 296 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produto interno bruto: PIB**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/ PIB.php>. Acesso em: 15 dez. 2018.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 8502-6**: preparation of steel substrates before application of paints and related products - tests for the assessment of surface cleanliness - part 6: extraction of soluble contaminants for analysis - the bresle method. Genebra: International Organization For Standardization, 2006.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 8502-9**: preparation of steel substrates before application of paints and related products: tests for the

assessment of surface cleanliness: part 9: field method for the conductometric determination of water-soluble salts. Geneva: International Organization For Standardization, 1998.

ITAIPU technological park e hydro-informatics center(cih). **Case of Brazil**. Disponível em: https://www.itaipu.gov.br/sites/default/files/Relat_sust_Ingles.pdf. Acesso em: 20 out. 2014.

NORMAS TÉCNICAS PETROBRAS. N **1374**: revestimentos anticorrosivos para manutenção de unidades marítimas de exploração e de produção. Contec: subcomissão autora. Rio de Janeiro, 2016.

NORMAS TÉCNICAS PETROBRAS. N **2037**: pintura de equipamentos submersos em água do mar. Contec: subcomissão autora. Rio de Janeiro, 2016.

NORMAS TÉCNICAS PETROBRAS. N **2231**: tinta de etil - silicato de zinco - alumínio. Contec: subcomissão autora. Rio de Janeiro, 2017.

NORMAS TÉCNICAS PETROBRAS. N **2288**: tinta de fundo epóxi pigmentada com alumínio. Contec: subcomissão autora. Rio de Janeiro, 2017.

NORMAS TÉCNICAS PETROBRAS. N **2568**: revestimentos metálicos por aspersão térmica. Contec: subcomissão autora. Rio de Janeiro, 2011.

NORMAS TÉCNICAS PETROBRAS. N **2628**: tinta epóxi poliamida de alta espessura. Contec: subcomissão autora. Rio de Janeiro, 2017.

NORMAS TÉCNICAS PETROBRAS. N **2630**: tinta de fundo epóxi de alta espessura. Contec: subcomissão autora. Rio de Janeiro, 2017.

NORMAS TÉCNICAS PETROBRAS. N **2677**: tinta de poliuretano acrílico. Contec: subcomissão autora. Rio de Janeiro, 2017.

NORMAS TÉCNICAS PETROBRAS. N **2680**: tinta epóxi, sem solventes, tolerante a superfícies molhadas. Contec: subcomissão autora. Rio de Janeiro, 2007.

NORMAS TÉCNICAS PETROBRAS. N **2912**: tinta epóxi “novolac”. Contec: subcomissão autora. Rio de Janeiro, 2016.

ORDINE, A. P. Análise de sais solúveis em superfícies metálicas para pintura. In: SEMINÁRIO BRASILEIRO DE PINTURA ANTICORROSIVA, 2014, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro, 2014.

SICA, C. Y. **Mapeamento da corrosividade atmosférica de São Luiz – MA e a correlação das variáveis ambientais que influenciaram na degradação dos materiais metálicos**. Orientador: Prof. Dr. Kleber Franke Portella. 2006. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciências dos Materiais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

SINGH, R. **Corrosion control for offshore structures**. 3. ed. Oxford: Elsevier, 2018. 232p.

SINGH, R. **Corrosion control for offshore structures**. Oxford: Elsevier, 2014. 235 p.
