

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE-FURG
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

**DESENVOLVIMENTO DE TÉCNICAS DE PREPARAÇÃO DE SUPERFÍCIE E
DEPOSIÇÃO EM ESTRUTURAS SUBMETIDAS À ATMOSFERAS PORTUÁRIAS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

TAMARA GIBON PEREIRA

RIO GRANDE, RS

2020

TAMARA GIBON PEREIRA

**DESENVOLVIMENTO DE TÉCNICAS DE PREPARAÇÃO DE SUPERFÍCIE E
DEPOSIÇÃO EM ESTRUTURAS SUBMETIDAS À ATMOSFERAS PORTUÁRIAS**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande - FURG como requisito para obtenção do título de “Mestre em Engenharia Mecânica” – Área de Concentração: Engenharia de Fabricação

Orientador: Prof. Dr. Jorge Luis Braz Medeiros

Co – Orientador: Prof. José de Souza

RIO GRANDE, RS

2020

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Jorge Luis Braz Medeiros
Universidade Federal do Rio Grande - FURG

Prof. Dr. Luciano Volcanoglo Biehl
Universidade Federal do Rio Grande - FURG

Prof. Dr. José De Souza
Escola Técnica Liberato Salzano Viana da Cunha

“A essência do conhecimento consiste em aplica-lo, uma vez possuído.”

Confúcio.

AGRADECIMENTOS

Não poderia começar de outra forma se não agradecendo ao meu orientador e incansável incentivador Prof. Dr. Jorge Luis Braz Medeiros.

Agradeço também ao professor José de Souza, co-orientador que se disponibilizou a contribuir de forma decisiva neste trabalho.

À FURG, pelo ensino gratuito e de qualidade;

Agradeço à Wilson Sons, pelo suporte às atividades de testes e experimentos;

À minha família e aos amigos, pelo suporte e incentivo;

Ao meu companheiro e motivador Lucas Bravo.

RESUMO

O ambiente portuário em regiões litorâneas se caracteriza por apresentar efeito corrosivo nas ligas ferrosas ao qual é submetido. Historicamente milhões são gastos em manutenção e recuperação e manutenção de estruturas. Pesquisas realizadas utilizando diferentes filmes depositados tentam minimizar os efeitos deletérios das interpéries climáticas nos substratos destes materiais. Neste trabalho foram estudados os efeitos das condições preliminares do substrato, correlacionando os mesmos com a aplicação de diferentes tipos de de acabamento, pinturas de fundo e de acabamento. As pinturas se caracterizam por comportarem-se como barreiras entre o substrato e o ambiente ao qual os materiais são expostos. Neste contexto questões de espessura e adesão dos filmes representam fator relevante no melhor desempenho deste tipo de proteção. Um fator relevante para este estudo se relaciona ao fato que o material utilizado foi um aço hipoeutetóide extremamente favorável aos mecanismos de corrosão. Os diferentes tipos de processo corrosivos foram criteriosamente analisados, observando-se as diferentes técnicas de deposição a serem aplicados. Os resultados indicaram que a preparação preliminar do substrato através da técnica de jateamento contribuiu para remoção homogênea dos produtos corrosivos e para maior adesão dos filmes. Conclui-se que a aplicação de jateamento, base, pintura final representa a triade fundamental para os melhores resultados de resistência a corrosão em estruturas em ambientes marítimos.

Palavras-chave: aços; corrosão; áreas litorâneas.

ABSTRACT

The port environment in coastal regions is characterized by having a corrosive effect on the ferrous alloys to which it is submitted. Historically millions are spent on maintenance and recovery and maintenance of exstructures. Researches carried out using different deposited films try to minimize the deleterious effects of climatic interspecies on the substrates of these materials. In this work the effects of the preliminary conditions of the substrate were studied, correlating them with the application of different types of finishing, background and finishing paints. The paintings are characterized as barriers between the substrate and the environment to which the materials are exposed. In this context issues of thickness and adhesion of films represent a relevant factor in the best performance of this type of protection. A relevant factor for this study is related to the fact that the material used was a hypoeutethoidal steel extremely favorable to corrosion mechanisms. The different types of corrosive processes were carefully analyzed, observing the different deposition techniques to be applied. The results indicated that the preliminary preparation of the substrate through the blasting technique contributed to the homogeneous removal of the corrosive products and greater adhesion of the films. It was concluded that the application of blasting, base, final painting represents the fundamental triad for the best results of resistance to corrosion in exstructures in marine environments.

Key words: steel; corrosion; coastal areas.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Exemplo de corrosão generalizada.
- Figura 2 – Série galvânica para diferentes ligas imersas em água do mar a 25°C.
- Figura 3 – Exemplo de corrosão galvânica.
- Figura 4 – Exemplos de corrosão localizada.
- Figura 5 – Exemplo de corrosão filiforme.
- Figura 6 – Exemplo de corrosão por esfoliação.
- Figura 7 – Estágios de corrosão segundo ISO 8501-1.
- Figura 8 – Jateamento abrasivo.
- Figura 09 – Local da amostra corroída no ambiente costeiro.
- Figura 10 – Ampliação de 50 x.
- Figura 11 – Ampliação 100 x.
- Figura 12 – Ampliação de 200 x.
- Figura 13 – Ampliação 500 x.
- Figura 14 – Ampliação 1000 x.
- Figura 15 – Amostras cortadas.
- Figura 16 – Primeira camada de fundo ou tinta.
- Figura 17 – Segunda camada de tinta.
- Figura 18 – Preparação manual sem fundo, aumento de 200x.
- Figura 19 – Preparação manual medição da camada sem fundo, aumento de 200 x.
- Figura 20 – Preparação manual e tinta com fundo, aumento de 200x.
- Figura 21 – Preparação manual e medição da camada com fundo, aumento de 200 x.
- Figura 22 – Jateamento com cobau e tinta sem fundo, aumento 200 x.
- Figura 23 – Jateamento com cobau, medição da camada sem fundo, aumento 200 x.
- Figura 24 – Jateamento com cobau, pintura com fundo, aumento 200 x.
- Figura 25 – Jateamento com cobau, medição da camada com fundo, aumento 200 x.

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Análise química de amostra corroída naturalmente.

Tabela 02 – Resultado do ensaio de microdureza.

Tabela 03 – Análise química da barra chata Gerdau.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivos gerais

2.2. Objetivos específicos

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. Processos corrosivos e seus efeitos em ambientes marítimos

3.2. Preparação de superfície

3.3. Revestimento com tinta

3.4. Ensaio eletroquímico

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Preparação das amostras

5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1. Caracterização do material

5.2. Análise do filme em microscópio óptico

5.3. Ensaio de corrosão

6. CONCLUSÕES

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

8. REFERÊNCIAS

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, milhões de dólares têm sido gastos na recuperação e substituição de estruturas utilizadas não somente em equipamentos portuários, como é o caso desta pesquisa, mas em todo território brasileiro, principalmente *offshore* e no litoral. Logo, é lógico que existe uma crescente necessidade de aumento da vida útil das superfícies que apresentam efeito das intempéries, tais como atmosfera salina, umidade, poluição, fadiga térmica proveniente de mudanças de temperatura ambiente.

Neste trabalho serão avaliados os principais modos de proteção anticorrosiva usados em terminais portuários, comparando condições de acabamento de substrato realizadas por meio de ferramenta manual e jato abrasivo com cobau, e analisando os revestimentos aplicados, sendo tintas epóxi de dois principais fabricantes para proteção de superfícies metálicas. A análise será realizada através de ensaio acelerado de corrosão, a fim de obter um resultado comparativo entre os modos de proteção superficial mais utilizados.

A economia proveniente da melhoria no processo de proteção anticorrosiva é reflexo de corte de desperdícios em: compra e substituição de novos componentes; tempo de mão de obra no tratamento de superfície; quantidade de tintas a adquirir; exposição de trabalhadores aos riscos da função que, por vezes, é realizada em altura e ambientes confinados.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GERAIS

Apontar a melhor técnica de deposição, dentre os principais métodos utilizados em ambientes portuários, que ocasione diminuição do tempo de manutenção e/ou substituição das estruturas utilizadas em equipamentos portuários.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar os tipos de degradação de superfície;
- Caracterizar o comportamento e preparação dos substratos;
- Verificar o comportamento em corrosão em ensaios acelerados;
- Realizar caracterização dos materiais;
- Apontar o método que mais protege o aço da corrosão.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Processos corrosivos e seus efeitos em ambientes marítimos

O estudo da corrosão em ambiente marinho é muito interessante para esses aços, porque são usados em instalações portuárias e de produção de petróleo offshore (Mariano et al., 2007). Por conta da grande variedade de elementos e composições químicas e da consequente variabilidade em relação à localização, clima, radiação solar, pressão, temperatura, etc. o ambiente marinho é considerado bastante complexo (Viana, 1980). Autores (Dexter, 2006; Griffin, 2006) relatam diferentes concentrações de cloretos na água do mar, o que é muito relevante, porque os cloretos potencializam os processos de corrosão e degradação dos aços.

No mecanismo eletroquímico, os principais tipos de corrosão são: generalizada, galvânica, localizada e filiforme (Merçon e Mairinier, 2004).

A seguir há o detalhamento e ilustração de cada tipo:

3.1.1 Corrosão generalizada

Apresenta-se uniformemente ao longo da superfície, não penetrando com maior profundidade em pontos específicos. Atmosferas ácidas ou industriais e água salgada são os ambientes que mais favorecem o surgimento desse tipo de corrosão, que ocorre devido à micro pilhas de ações localizadas (Alves, 2017), ilustrado na Figura 1:

Figura 1 – Exemplo de corrosão generalizada.



Fonte: O autor.

3.1.2 Corrosão galvânica

Ocorre a partir da formação de uma pilha entre dois metais (ou ligas) com diferentes potenciais. Esse processo de corrosão pode ser previsto tendo como base os potenciais na série galvânica da Figura 2:

Figura 2 – Série galvânica para diferentes ligas imersas em água do mar a 25°C.



Grafite
Titânio
Aços inoxidáveis (passivos)
Bronze níquel alumínio
Cuproníquel (70/30 e 90/10)
Bronzes
Latões
Estanho
Chumbo
Ferro fundido austenítico
Aços inoxidáveis (ativos)
Ferro fundido
Aços estruturais patináveis
Aços estruturais
Ligas de alumínio
Zinco
Magnésio

Fonte: Portal Metálica.

A série galvânica ordena metais e ligas, para cada meio, com referência nos potenciais mistos e em resultados de testes de corrosão. Em resumo, é uma ordem de nobreza, e que depende do meio em que o material está inserido. Deste modo, se forem ligados eletricamente dois materiais no meio em questão, o menos nobre irá oxidar-se, e ficar catódico o de maior nobreza (Merçon e Mairinier, 2004). Na Figura 3 há um claro exemplo de corrosão galvânica, onde os parafusos foram construídos em material menos nobre:

Figura 3 – Exemplo de corrosão galvânica.



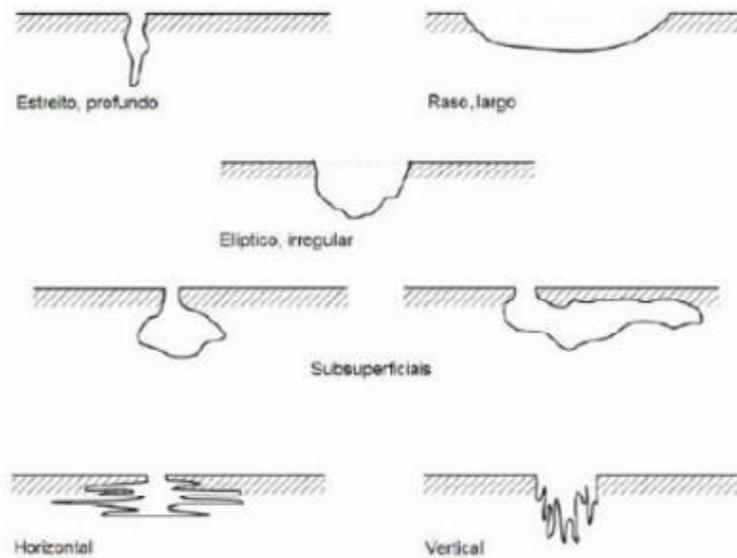
Fonte: O autor.

3.1.3 Corrosão localizada

A corrosão localizada ocorre pela degradação de pontos específicos da superfície metálica, podendo ser causada por diversas condições ambientais. As formas mais comuns são o aparecimento de covas (*pitting*) ou frestas (*crevice*) na superfície do aço, outros modos de surgimento são as trincas (*watermark*) ao longo dos contornos de grão na estrutura metalúrgica do aço ou material em questão, também chamada de corrosão intergranular.

Este processo se dá em uma sequência de etapas, no início há a quebra do filme passivo, ou seja, a camada de escala nanométrica de óxido que se forma naturalmente a fim de proteger o material é rompida. Logo após, inicia-se o crescimento de pequenas cavidades no metal que podem, após um tempo, cessar e haver a formação de uma nova camada passivadora (Sridhar, Brossia, Dunn e Anderko, 2014). Os exemplos de corrosão localizada estão expostos na Figura 4:

Figura 4 – Exemplos de corrosão localizada.



Fonte: ASTM G46-97 [Frankel e Sridhar, 2008].

3.1.4 Corrosão filiforme

Este processo se dá na forma de finos filamentos que se propagam em diferentes direções e se cruzam. O principal ponto neste tipo de corrosão é sua ocorrência em metais revestidos com tintas ou com outros metais pelo processo de metalização, porque reproduzem o deslocamento do revestimento. Também é comum acontecer em soldas e cantos vivos. Geralmente ocorre quando há umidade no ar em torno de 90% e, principalmente em revestimentos bastante permeáveis à penetração de oxigênio, que produz aeração diferencial ou em superfícies com falhas siderúrgicas. Na Figura 5 há uma ilustração deste tipo de corrosão (Oliveira, 2012).

Figura 5 – Exemplo de corrosão filiforme.



Fonte: O autor.

3.1.5 Corrosão por esfoliação

O resultado deste tipo de corrosão se parece com um inchamento do material metálico, que se divide em diferentes camadas paralelas à superfície, resultando em um produto de corrosão que fica entre a estrutura de grãos (Oliveira, 2012). Por meio de reações químicas, a esfoliação degrada metais que estejam em contato com o meio ambiente. É comumente encontrado em chapas. Na Figura 6 tem-se um exemplo deste tipo de corrosão:

Figura 6 – Exemplo de corrosão por esfoliação.



Fonte: O autor.

3.2 Preparação de superfície

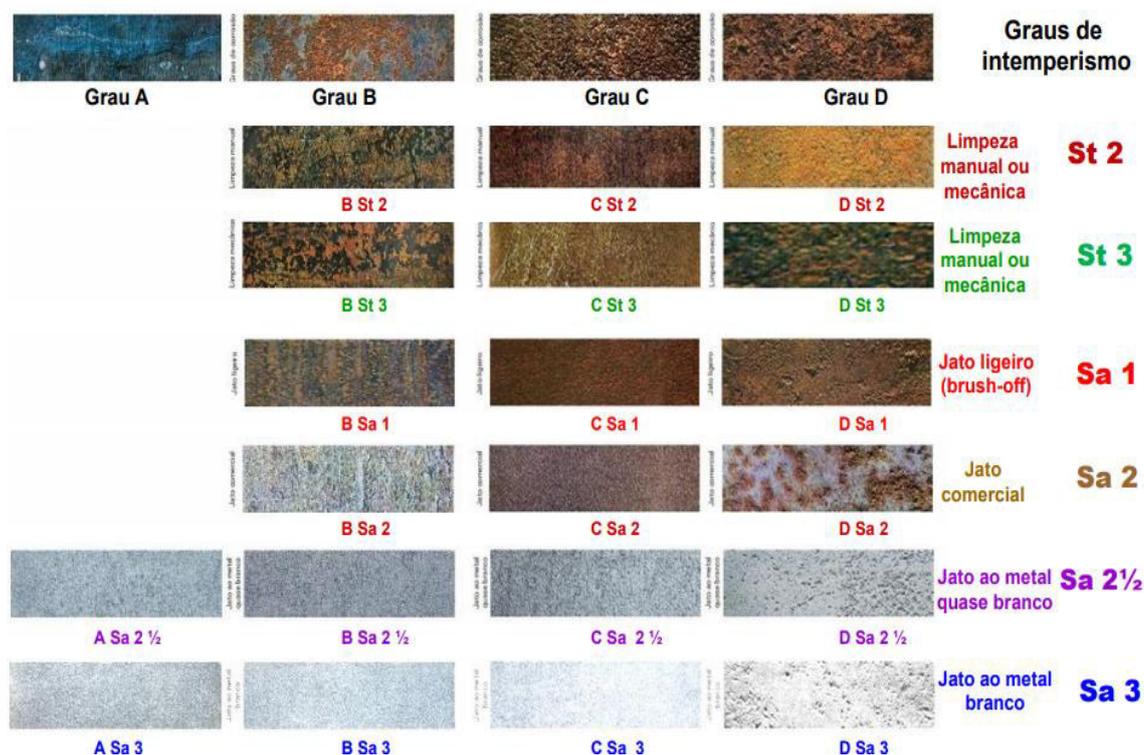
A fim de isolar a superfície metálica do meio atmosférico corrosivo é necessário aplicar revestimentos, sendo estes metálicos, poliméricos ou quaisquer composições em forma pastosa ou líquida com o intuito de aderir e formar película na forma sólida após a secagem (Gentil, 2006).

Tão importante quanto o procedimento de pintura é o procedimento de preparação da superfície, visto que é neste passo que se devem remover quaisquer resquícios de outras substâncias, sejam elas gordurosas, produtos químicos, óxidos, sulfetos e sujidades em geral. Deve-se ressaltar que a presença de compostos indesejados pode ocasionar má aderência da tinta no substrato, possuir tensão superficial que posteriormente pode vir a romper a camada protetora e ser imprevisíveis quando em contato com a tinta ou umidade (Hoch, 2007).

Para que haja uma boa aderência e desempenho da pintura, a deposição deve ser feita em uma superfície previamente limpa e com a rugosidade adequada, a fim de potencializar a área de contato entre a película e o substrato e aprimorar a aderência. A avaliação da superfície antes da aplicação da tinta é realizada de maneira qualitativa e pode ser baseada

nas normas internacionais SIS-055900 e outras que ilustram o grau de degradação ou intemperismo, definidos como quatro estágios, onde a letra “A” designa uma superfície de aço recém laminado, “B” apresenta superfícies com óxidos de fácil remoção, “C” ilustra carepas de maior dificuldade de remoção, sendo indicado o uso de raspagem ou jateamento e “D” seria o último estágio de degradação, onde os processos de lixamento e jateamento podem ser bastante difíceis. Na Figura 7 são ilustrados os estágios de corrosão:

Figura 7 – Estágios de corrosão segundo ISO 8501-1.



Fonte: ISO 8501-1.

A fim de realizar a preparação do substrato metálico, podem ser utilizados, em ordem de abrasão:

3.2.1 Lixas e preparação do substrato

São de uso manual e apresentam os seguintes tipos quanto à granulometria ou abrasão:

150 a 220: Indicada para pintura nova antes de aplicar o fundo ou primer imobiliário, serve para remoção de ferrugem e carepa de laminação, melhorar a ancoragem do fundo ou primer;

320 a 360: Preparação de superfícies pintadas com fundo ou primer imobiliário, usada para deixar a superfície uniforme;

320 a 360: Utilizada para o lixamento entre demãos de acabamento do tipo esmalte sintético, a fim de obter um acabamento fino;

360 a 400: Usa-se para lixar superfícies de alumínio, aço galvanizado e chapas zincadas a fim de receber o fundo;

320 a 360: Usada em repintura, melhorando a ancoragem e lixamento entre demãos do acabamento com esmalte sintético para um acabamento fino.

3.2.2 Jateamento com abrasivo

No jateamento com abrasivo usa-se a força do impacto das partículas abrasivas, geralmente metálicas ou minerais, em alta velocidade para remover tintas, camadas corroídas e contaminantes. Nesta técnica obtêm-se excelente acabamento e grau de limpeza, visto que as partículas são capazes de penetrar em pequenas ranhuras, imperfeições e cantos das peças. Além de limpeza de peças, este processo é usado para decapagem de barras, arames e chapas; *shot-peening*, aumentando a resistência a fadiga de molas, engrenagens e outros componentes; jateamento em construções de concreto; remoção de borracha nas pistas de aeroportos; entre outros (Informes técnicos Cym, 2019).

O sistema compõe-se basicamente de um recipiente com abrasivo, mangueira e sistema para pressurizar as partículas, este composto por bomba, motor, válvulas e comandos.

Figura 8 – Jateamento abrasivo.



Fonte: Informes técnicos Cym, 2019.

3.3 Revestimento com tinta

A aplicação das tintas se dá através de trinchas, pincéis, rolos, pistolas ou combinação de dois ou mais métodos, o que varia em decorrência da tinta, do tipo de material e superfície, das condições ambientais e prazos para a finalização do processo.

O tempo entre cada aplicação, também chamado de demãos, deve ser longo o bastante para que uma camada não danifique a outra, porém, não tão longo para que haja boa aderência, o tempo máximo e mínimo de aplicações é determinado pelo fabricante. No decorrer do processo de secagem e aplicação, é necessário que sejam evitadas quaisquer contaminações da película de tinta, seja por água, poeira, produtos químicos ou outros contaminantes.

Nos processos de pintura de manutenção, a partir de uma análise técnica econômica é possível que se remova apenas a tinta que esteja em condições insatisfatórias, ou seja, com trincas ou má aderência, e a repintura parcial deve minimizar quaisquer possíveis danos à área da pintura que esteja em boas condições. Além disso, as tintas utilizadas originalmente e na repintura devem ser compatíveis.

3.3.1 Controles necessários durante o processo de deposição

Segundo a norma ABNT NBR 15218, as inspeções de pintura devem ser realizadas por profissionais qualificados. Nestas, devem ser realizadas medições de umidade relativa do ar, temperatura do ambiente e do substrato antes do início dos trabalhos de deposição de tintas e a cada hora durante o processo. Além dos controles quanto ao ambiente, é necessária a

medição da espessura de película úmida, o que evita variações indesejáveis na espessura quando a película secar. A

A faixa de película úmida pode ser alcançada pela expressão:

$$EPU = EPS * 100 * SV \quad (1)$$

Onde:

EPS = espessura seca nominal da película de tinta, em μm ;
EPU = espessura úmida, em μm ;
SV = teor de sólido por volume, em %.

É inadmissível que o valor de película úmida ocasione película úmida menor do que a especificada, deste modo, deve-se corrigir imediatamente. Porém, é aceitável que o valor de película úmida alcance um máximo de 40% do previsto, exceto em tintas ricas em zinco onde o máximo é 20%.

As medições em película seca em tubulações e estruturas devem ser realizadas, no mínimo, uma para cada 10 m do comprimento. Já para áreas planas, o número de medições corresponde a 20% da área total a ser pintada, em valor absoluto.

3.4. Ensaio eletroquímico

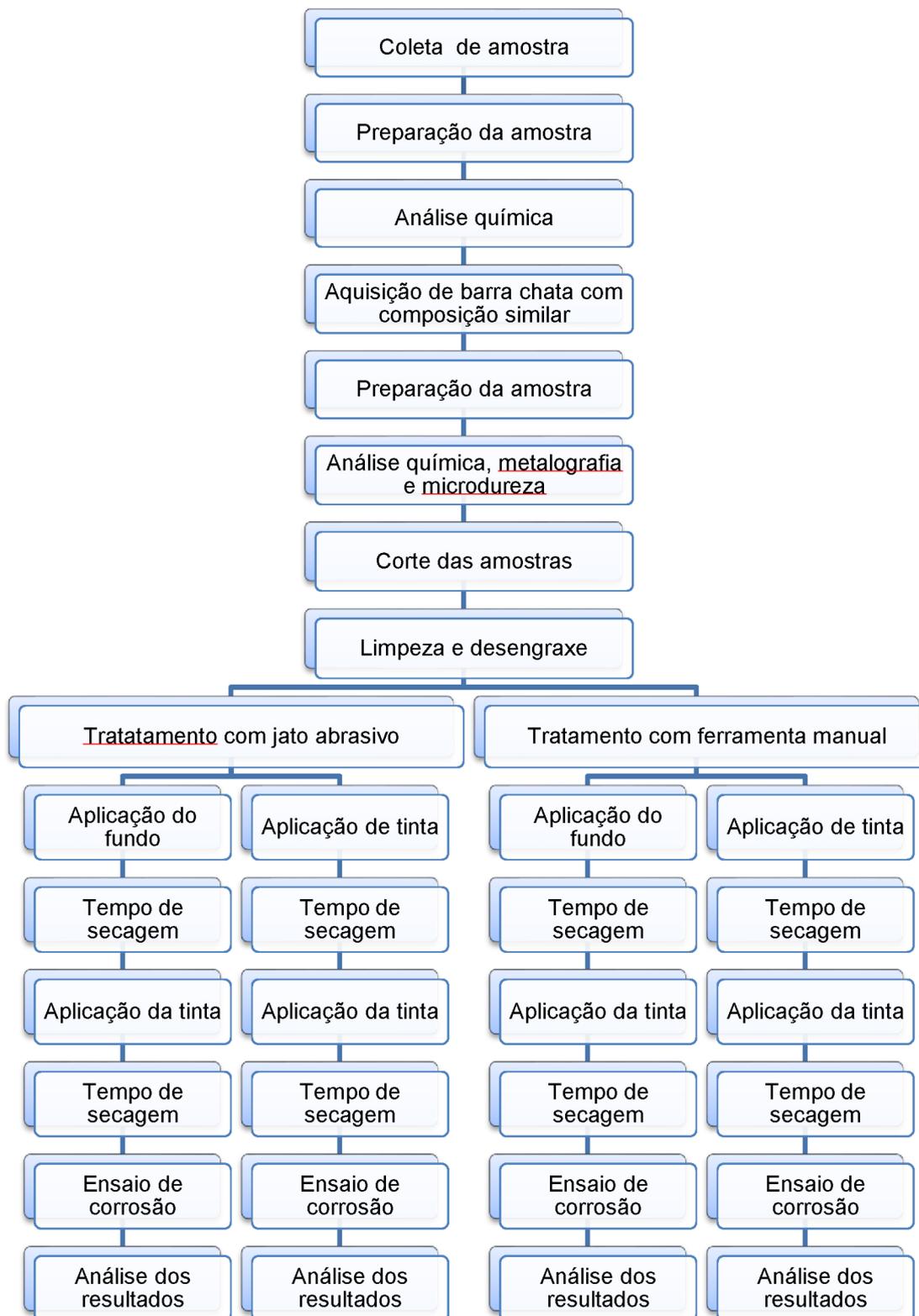
No momento em que uma amostra de metal está imersa em um meio eletrolítico, pode-se medir o potencial de corrosão, valor que varia conforme a natureza dos processos anódicos e catódicos e reações que acontecem na superfície. Estas condições variam de acordo com o tempo e formações ou dissoluções das camadas na superfície do material, mudança em poros, mudança da solução, etc. (Wolyneq, 2003)

É recomendado que seja medida a variação do potencial nos primeiros momentos dos ensaios eletroquímicos, porque as condições superficiais se modificam ao longo do tempo. Portanto, sabendo-se que se trata de uma condição do metal, é essencial medir em relação a um referencial, esta medida é conhecida como potencial em circuito aberto. No entanto, este acompanhamento do potencial após e durante a imersão do corpo de prova em solução eletrolítica é relevante para estudos que levam em consideração a taxa de corrosão, sendo importante para pesquisas de proteções anticorrosivas. (Martinez; Andrade, 2008)

4. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia aplicada neste trabalho segue o fluxograma indicado na figura abaixo.

Figura 9 – Fluxograma dos experimentos.



Fonte: O autor.

4.1 Preparação das amostras

4.1.1 Corte da barra chata

A fim de mitigar um possível superaquecimento e, por consequência, queima e degradação da microestrutura do material, optou-se por realizar o corte com serra manual e o resultado é ilustrado na Figura 15.

Figura 15 – Amostras cortadas.



Fonte: O autor.

4.1.2 Tratamento de superfície

Os principais métodos de tratamento de superfície são usados neste trabalho e descritos nas secções 4.2.2.1. a 4.2.2.3.

4.1.2.1 Ferramenta manual

O método mais comum e que demanda menor infraestrutura, porém, maior tempo de mão de obra. Aqui utilizou-se a esmerilhadeira da marca Bosch modelo GWS 8-115 com o disco flap simples Norton de grão 80.

4.1.2.2 Jateamento abrasivo com cobau

O jateamento com cobau é realizado com uma máquina de jateamento profissional da marca Mellters instalada no compressor da marca Schulz. O cobau é depositado em um reservatório chamado panela e succionado através da pistola, a fim de gerar força de impacto necessária para a limpeza da superfície.

4.1.3 Deposição de tintas

Após o tratamento superficial, realizou-se a primeira demão de tinta nas peças em azul e de fundo nas peças em vermelho da Figura 16, foi utilizado pincel para pintura em metal, as condições climáticas eram as seguintes:

- Umidade relativa do ar: 83%
- Temperatura ambiente: 23°C

Figura 16 – Primeira camada de fundo ou tinta.

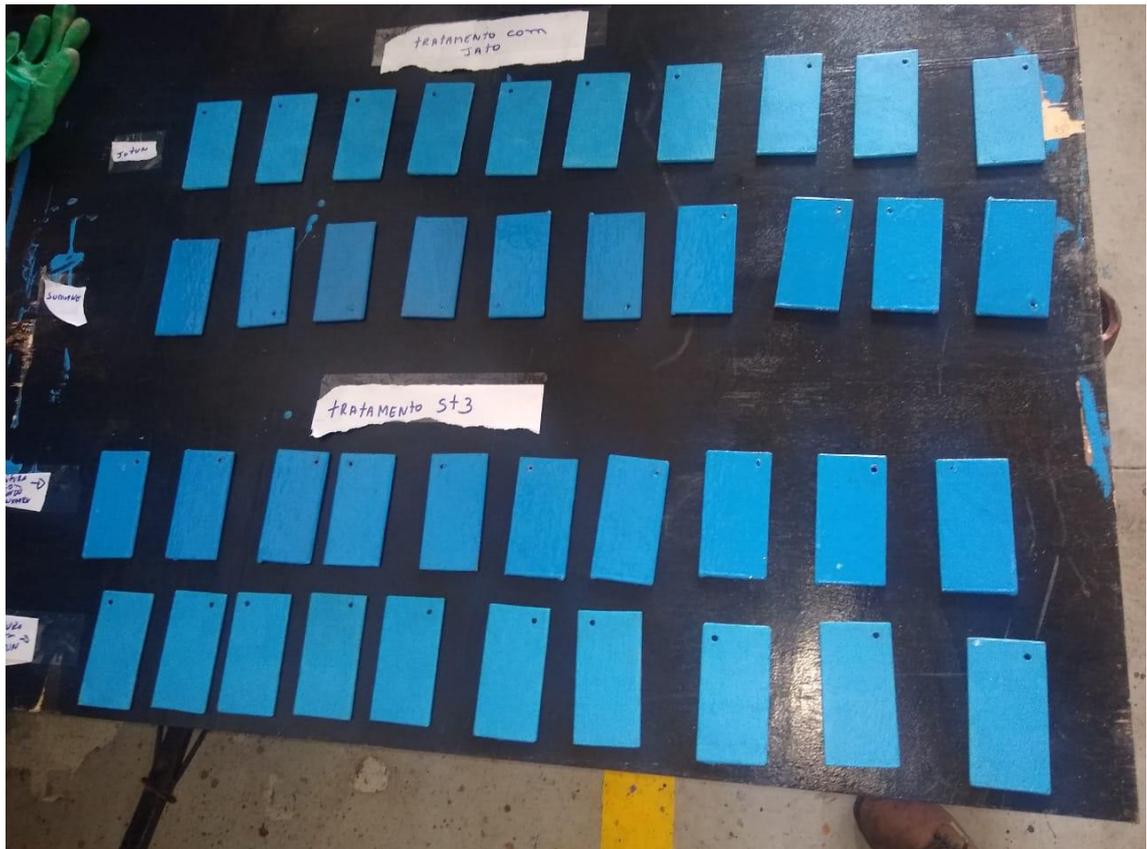


Fonte: O autor.

Após 10 horas, lixaram-se cuidadosamente as peças a fim de gerar a rugosidade adequada para a próxima demão. Depois do lixamento, aplicou-se a última camada de tinta em todas as amostras, ilustrado na Figura 17. Vale ressaltar que, embora sejam da mesma cor, as amostras com o esquema fundo e tinta foram pintadas com produtos de fabricante concorrente ao fabricante dos produtos utilizados nas amostras com o esquema tinta e tinta.

O tempo de secagem da última demão foi de 30 horas.

Figura 17 – Segunda camada de tinta.



Fonte: O autor.

5. RESULTADOS

5.1 Caracterização do material

Conforme a Tabela 01, analisou-se quimicamente, com o uso do espectrômetro de emissão óptica Foundry Master Pro da marca *Oxford Instruments*, uma amostra corroída de um suporte de luminária proveniente de um guindaste portuário do tipo *ship to shore*, ilustrada na Figura 09, e concluiu-se que o aço em questão era um aço carbono com baixo percentual de carbono, ou seja, entre 0,15 % C e 0,23 % C.

Figura 09 – Local da amostra corroída no ambiente costeiro.



Fonte: O autor.

Tabela 01 – Análise química de amostra corroída naturalmente.

Amostra	C	Si	Mn	P	S
1	0,199	0,0211	0,521	0,0164	0,0132
2	0,190	0,0204	0,511	0,0174	0,0130
3	0,192	0,0190	0,518	0,0163	0,0125
Média	0,194	0,0202	0,517	0,0167	0,0129

Fonte: O autor.

E demais elementos residuais de sucata.

Deste modo, adquiriu-se uma barra chata Gerdau 1/8" x 3/8" x 6 m, certificado de qualidade, Anexo 01, a fim de realizar os ensaios. A caracterização química, microestrutural e análise de dureza da barra em estudo estão explícitas nas secções 4.1.1. a 4.1.3.

5.1.1 Análise química

Utilizando a mesma metodologia da análise química da amostra corroída com a ação do tempo e ambiente costeiro, realizou-se a análise na barra chata adquirida, o resultado é mostrado na Tabela 03 abaixo:

Tabela 03 – Análise química da barra chata Gerdau.

Elemento	Fe	C	Si	Mn	P	S
Ensaio 1	98,7	0,200	0,112	0,474	0,0156	0,0263
Ensaio 2	98,8	0,185	0,114	0,464	0,0175	0,0262
Ensaio 3	98,8	0,198	0,117	0,4580	0,0080	0,0214
Média	98,8	0,194	0,114	0,4653	0,0137	0,0246

Fonte: O autor.

5.1.2 Ensaio de microdureza

Para a medição de microdureza utilizou-se o Equipamento para teste de dureza (durômetro), bivolt, na cor gelo, modelo 81875LKV, série 185633, marca Zwick/Roell e obteve-se o resultado apresentado na Tabela 02 abaixo:

Tabela 02 – Resultado do ensaio de microdureza.

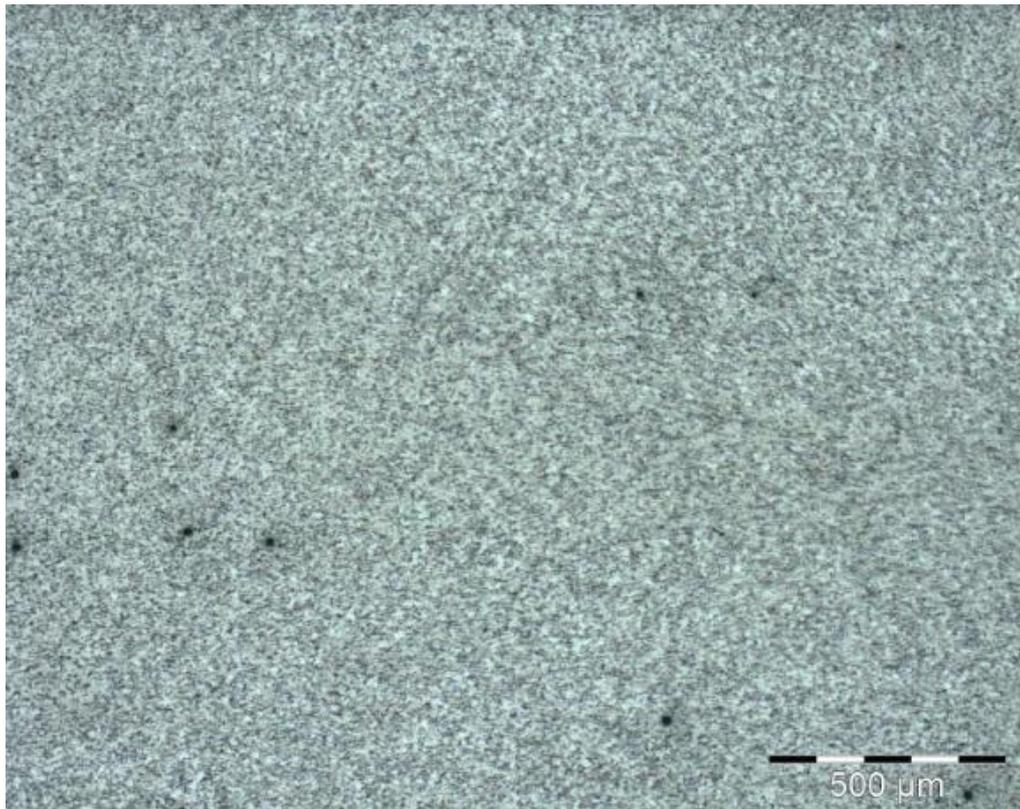
Análises	HV_{0,3}
1	177
2	176
3	176
4	155
5	169
6	158
7	164
8	178
9	169
10	167

Fonte: O autor.

5.2 Metalografia do substrato

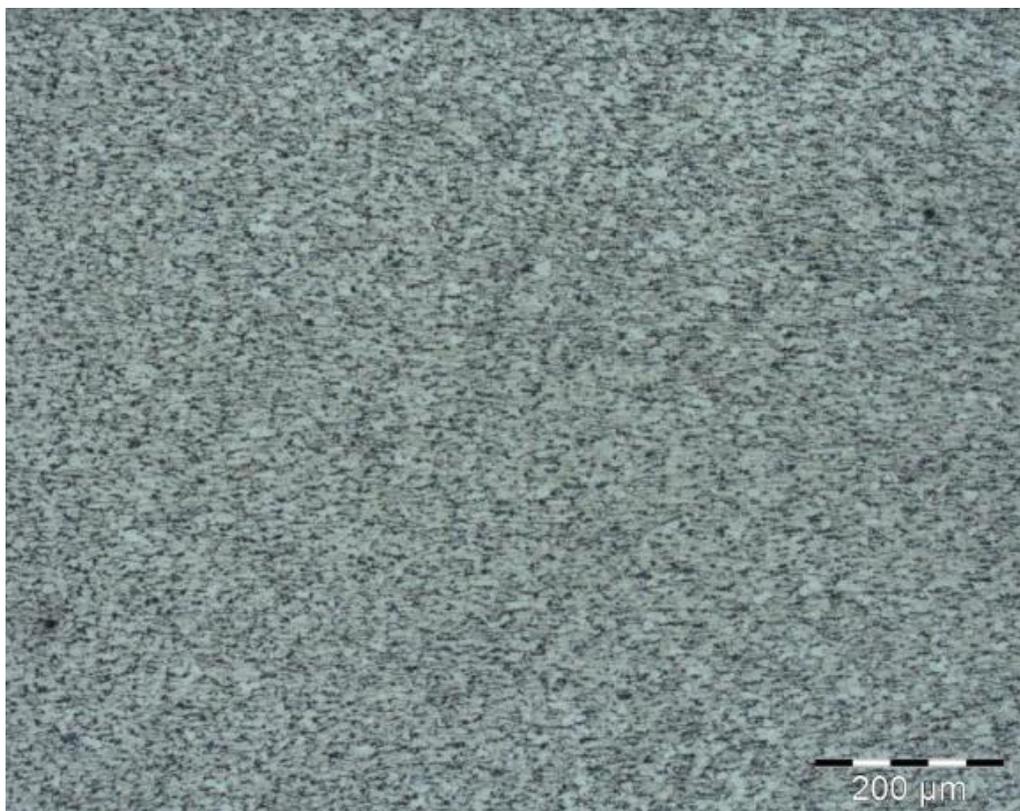
Para a realização das imagens da microestrutura das amostras, foi utilizado o microscópio de metalografia, 110/220v, na cor cinza, modelo GX51F, série 0F68306, marca Olympus. As imagens estão expostas abaixo:

Figura 10 – Ampliação de 50 x.



Fonte: O autor.

Figura 11 – Ampliação 100 x.



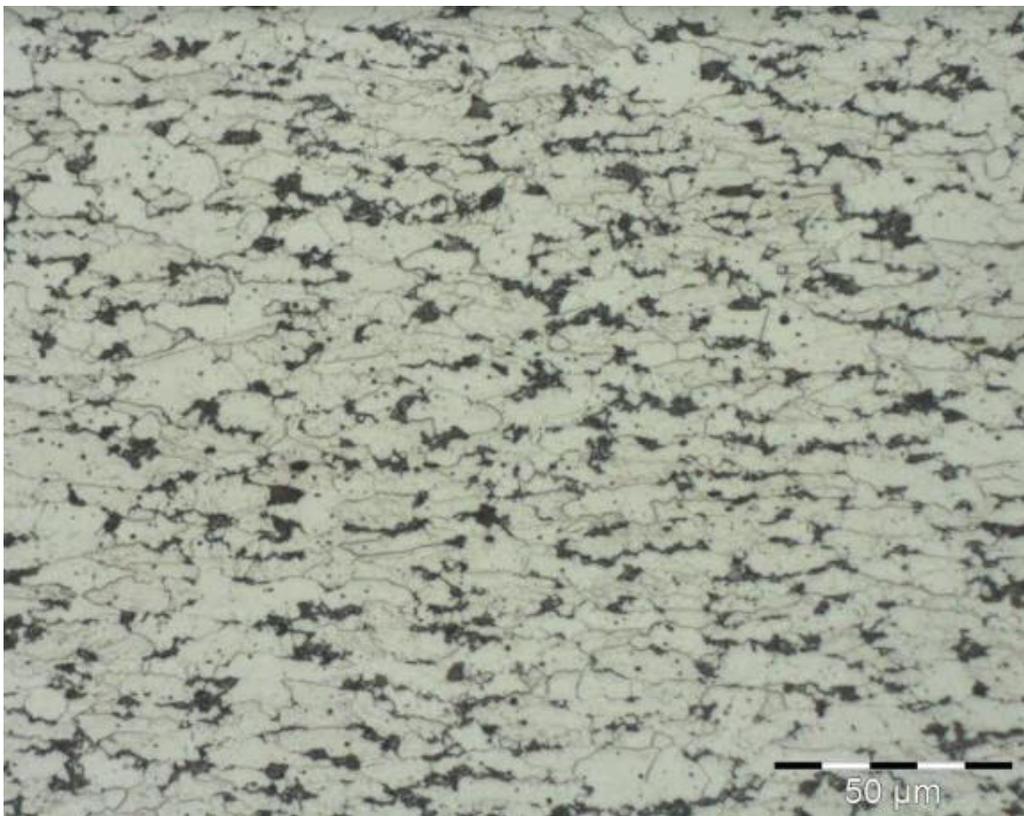
Fonte: O autor.

Figura 12 – Ampliação de 200 x.



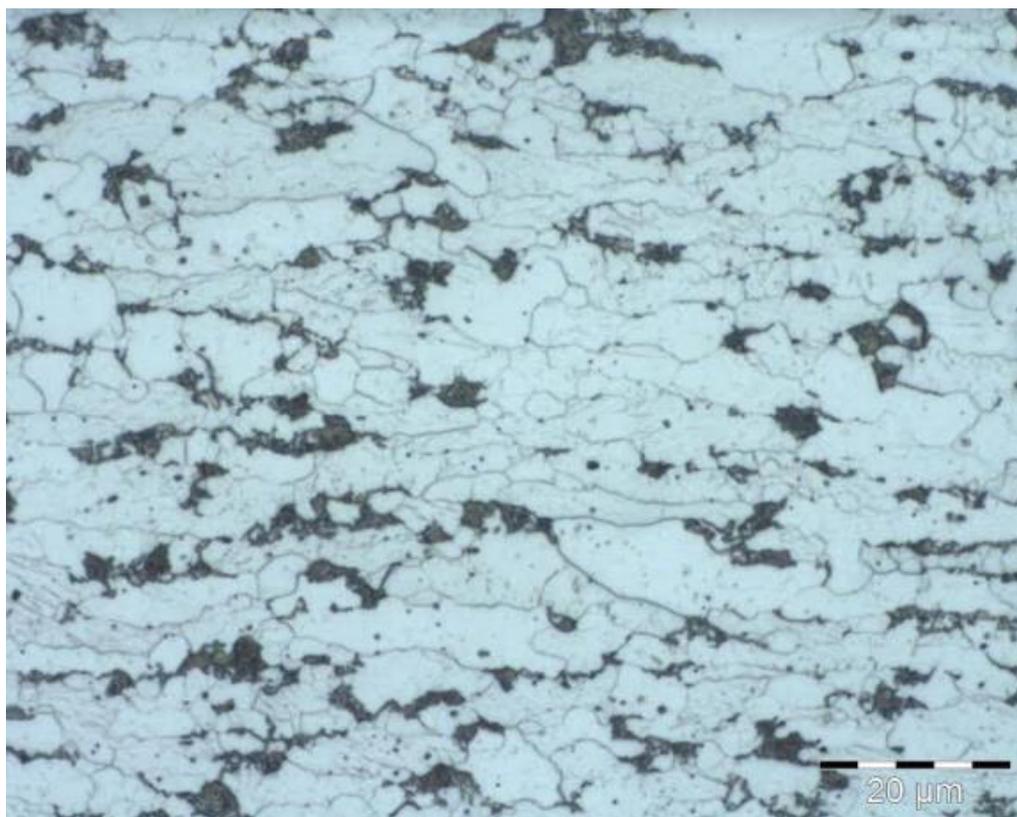
Fonte: O autor.

Figura 13 – Ampliação 500 x.



Fonte: O autor.

Figura 14 – Ampliação 1000 x.

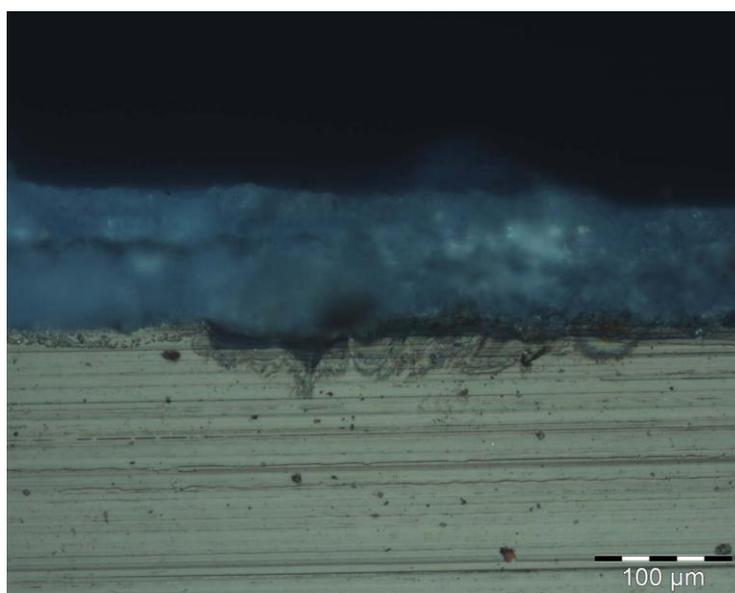


Fonte: O autor.

5.3 Análise do filme em microscópio óptico

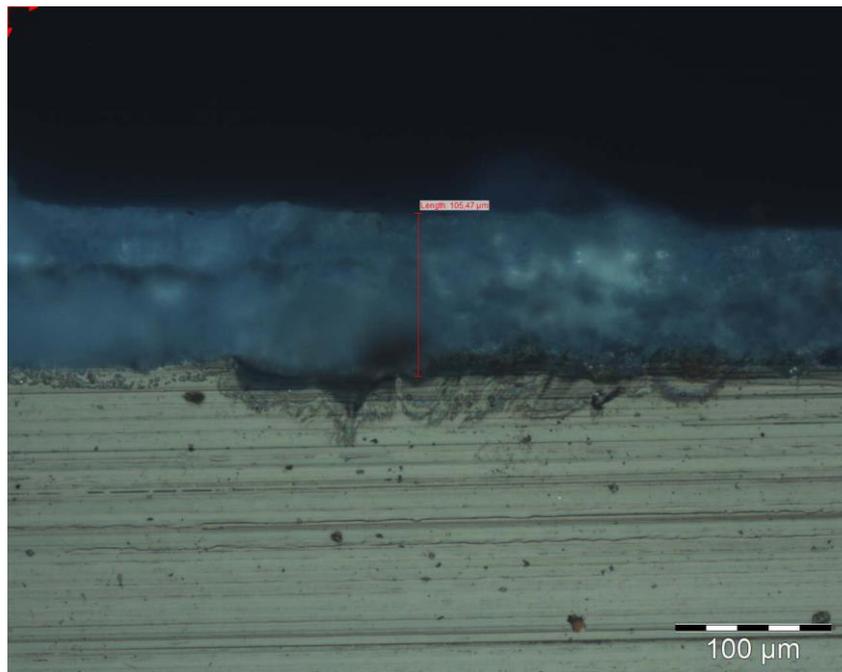
Após 48 horas de secagem, as amostras foram cortadas e o filme foi analisado no microscópio óptico, conforme ilustrado nas figuras abaixo:

Figura 18 – Preparação manual sem fundo, aumento de 200x.



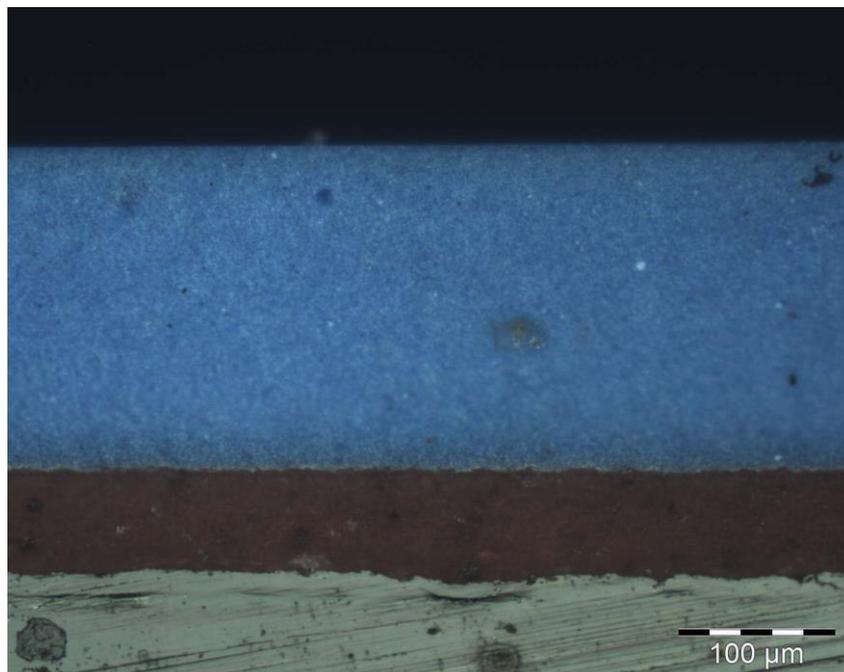
Fonte: O autor.

Figura 19 – Preparação manual medição da camada sem fundo, aumento de 200 x.



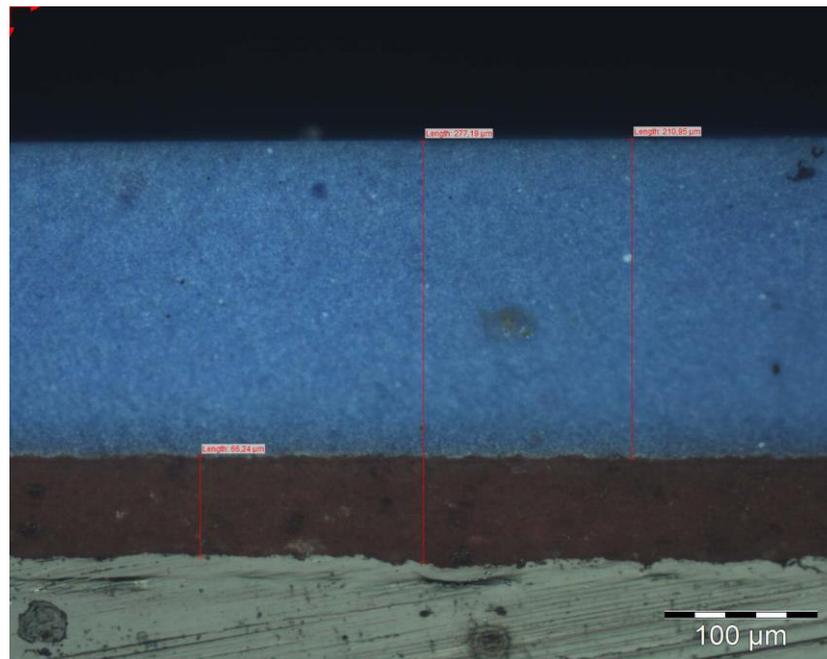
Fonte: O autor.

Figura 20 –Preparação manual e tinta com fundo, aumento de 200x.



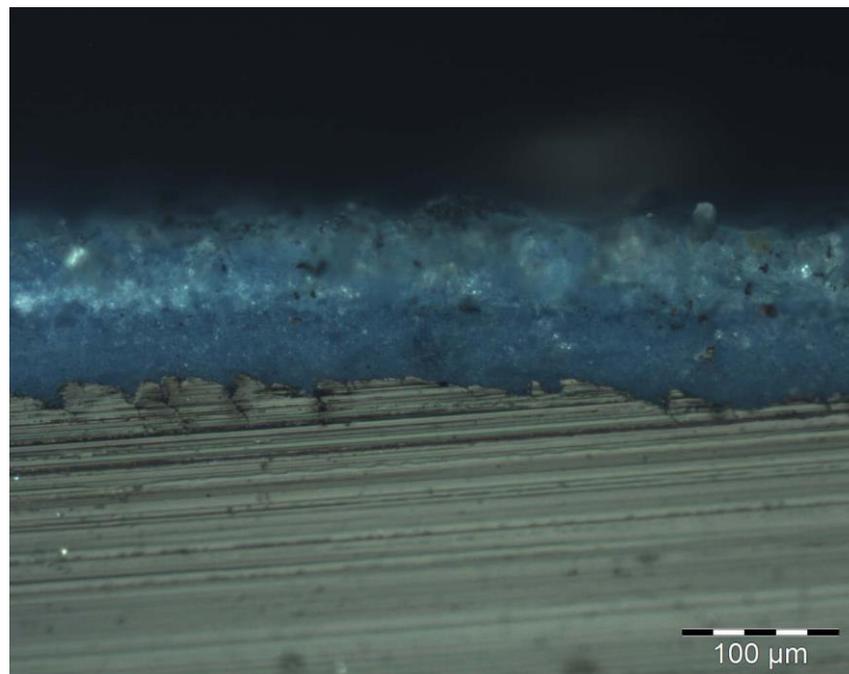
Fonte: O autor.

Figura 21 – Preparação manual e medição da camada com fundo, aumento de 200x.



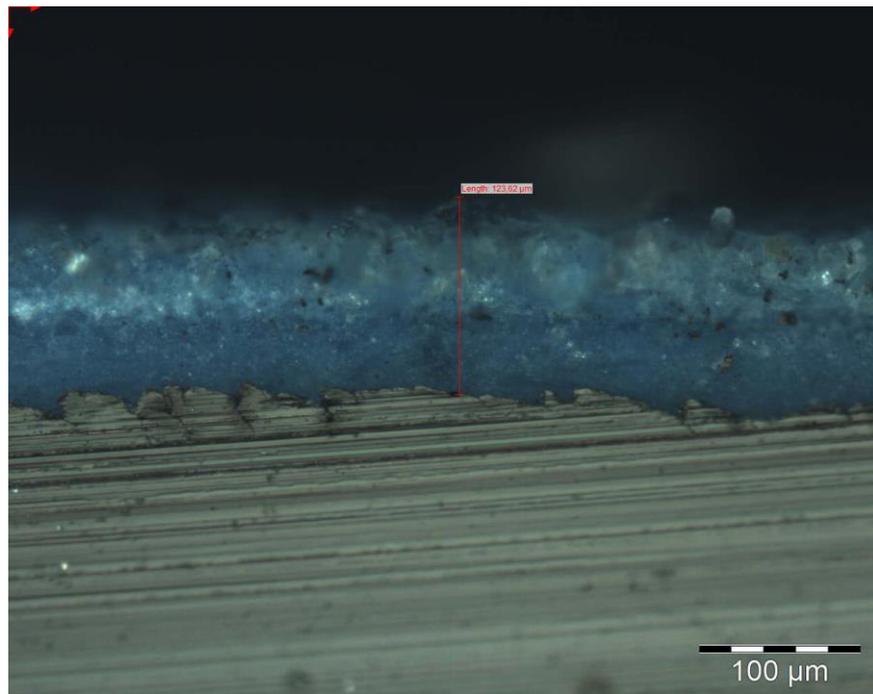
Fonte: O autor.

Figura 22 – Jateamento com cobau e tinta sem fundo, aumento 200 x.



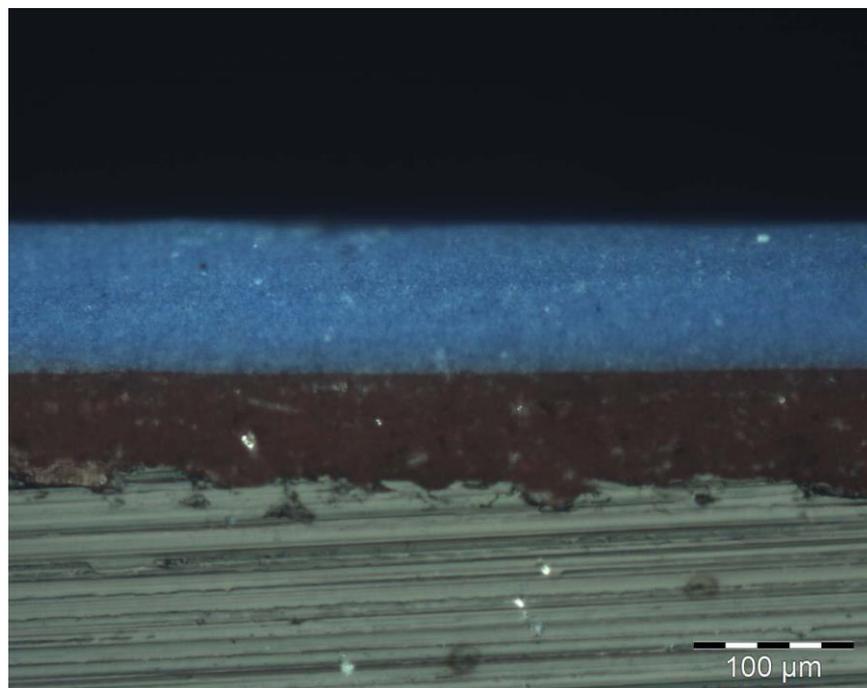
Fonte: O autor.

Figura 23 – Jateamento com cobau, medição da camada sem fundo, aumento 200x.



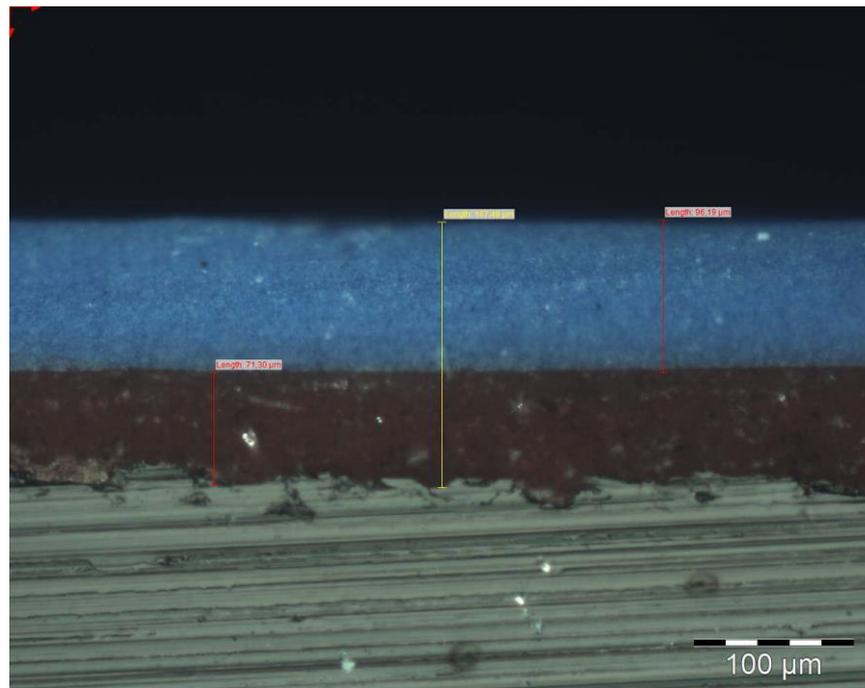
Fonte: O autor.

Figura 24 – Jateamento com cobau, pintura com fundo, aumento 200 x.



Fonte: O autor.

Figura 25 – Jateamento com cobau, medição da camada com fundo, aumento 200 x.



Fonte: O autor.

5.4 Ensaio de corrosão

Para realização do ensaio de corrosão, foram destinadas 10 amostras em cada uma das 4 condições diferentes:

- Grupo 1: Tratamento XX e duas camadas de tinta
- Grupo 2: Tratamento XX e duas camadas de tinta
- Grupo 3: Tratamento XX, fundo e tinta
- Grupo 4: Tratamento XX, fundo e tinta

Separou-se duas de cada condição, servindo como branco. Colocou-se em imersão em cloreto a 3,5% as demais, conforme Figura 26. Retirou-se duas de cada grupo a cada 7 dias e realizou-se as medições, de acordo com a Figura 27. Logo, tem-se branco, 7 dias, 14, 21 e 28 dias em imersão.

Figura 26 – Amostras em imersão.



Fonte: O autor.

Figura 27 – Ensaio de impedância eletroquímica.



Fonte: O autor.

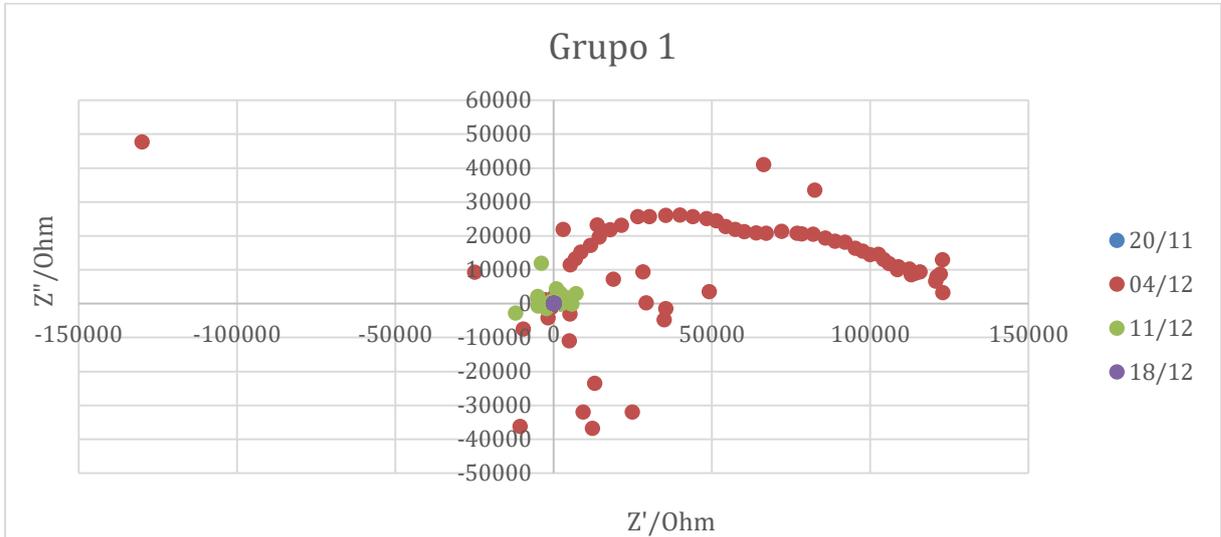
Condições do ensaio:

- Condições de impedância; 10 mHz a 100 kHz
- Amplitude: 10 mV

- Solução 3,5% cloreto de sódio

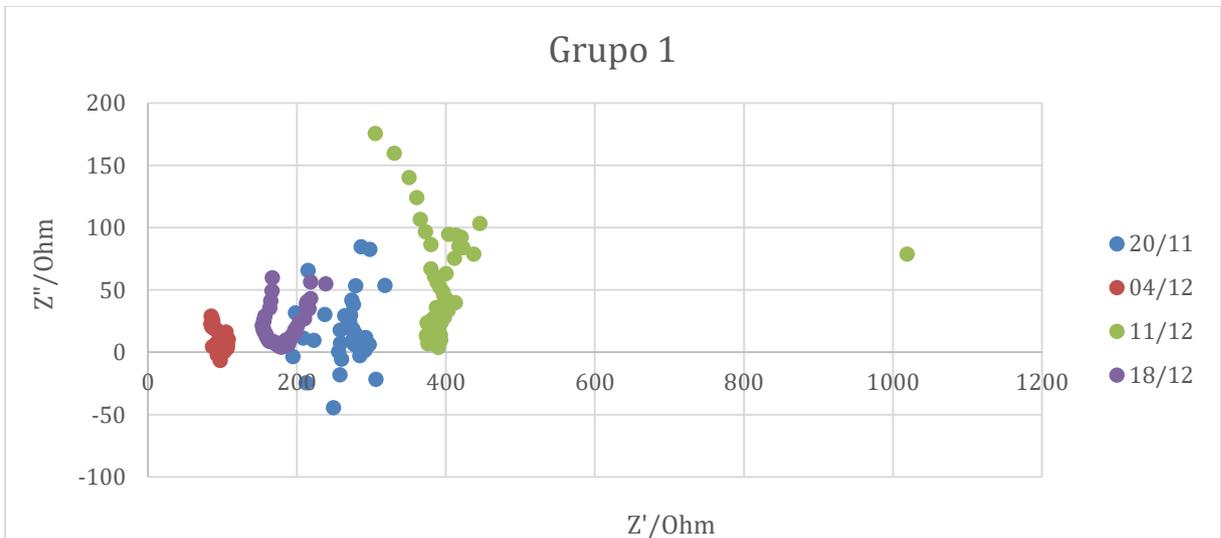
Os gráficos resultantes do ensaio de impedância eletroquímica estão expostos nas Figuras 28, 29, 30 e 31 abaixo, os dias de medição estão indicados nos mesmos.

Figura 28 – Grupo 1 ensaio 1.



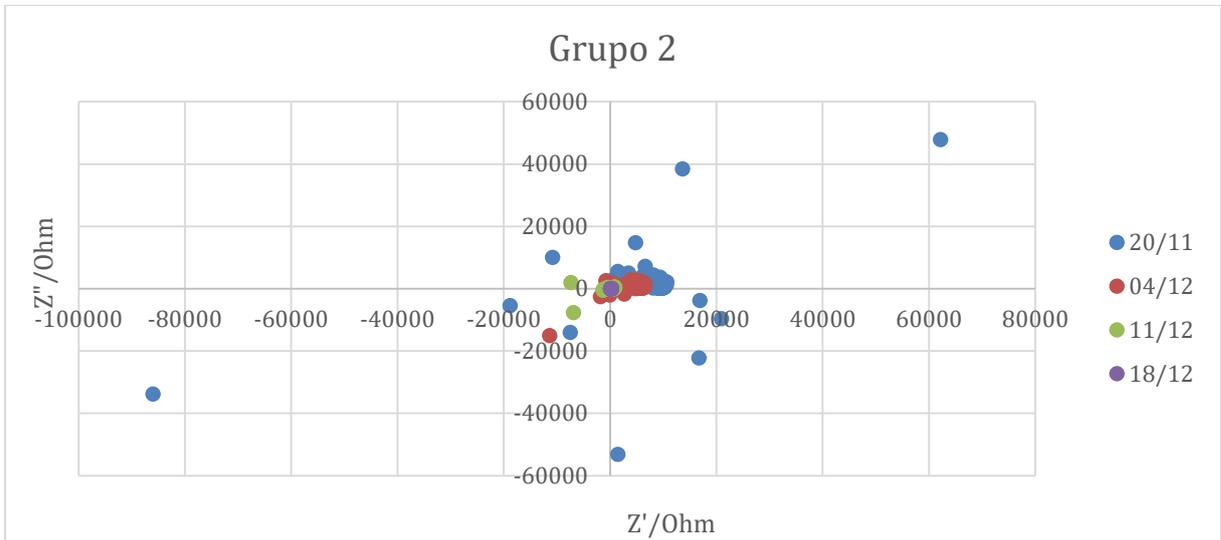
Fonte: O autor.

Figura 29 – Grupo 1 ensaio 2.



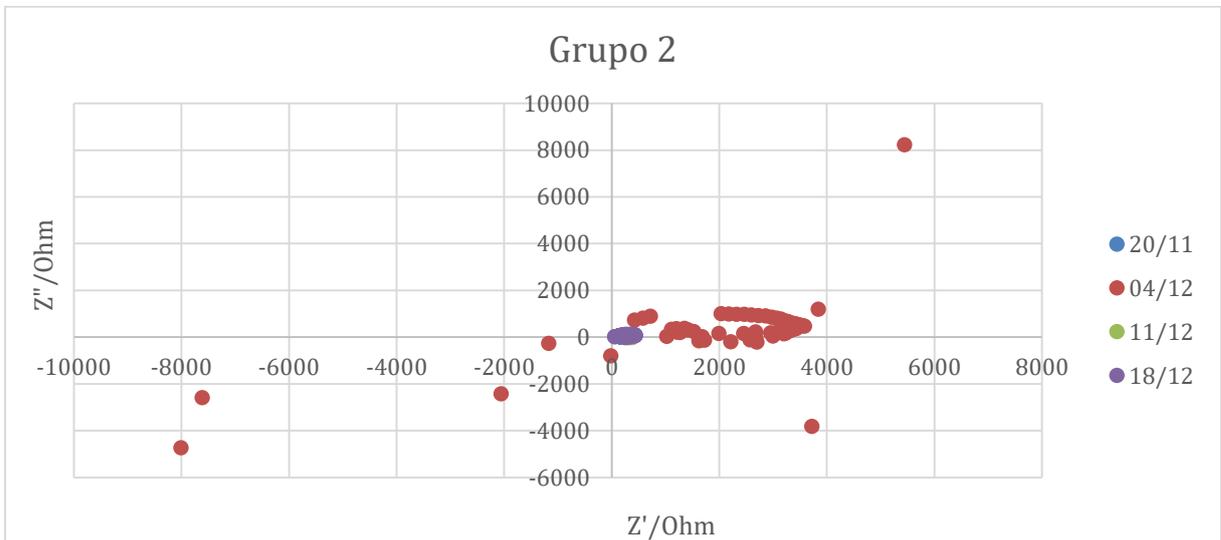
Fonte: O autor.

Figura 30 – Grupo 2 ensaio 1.



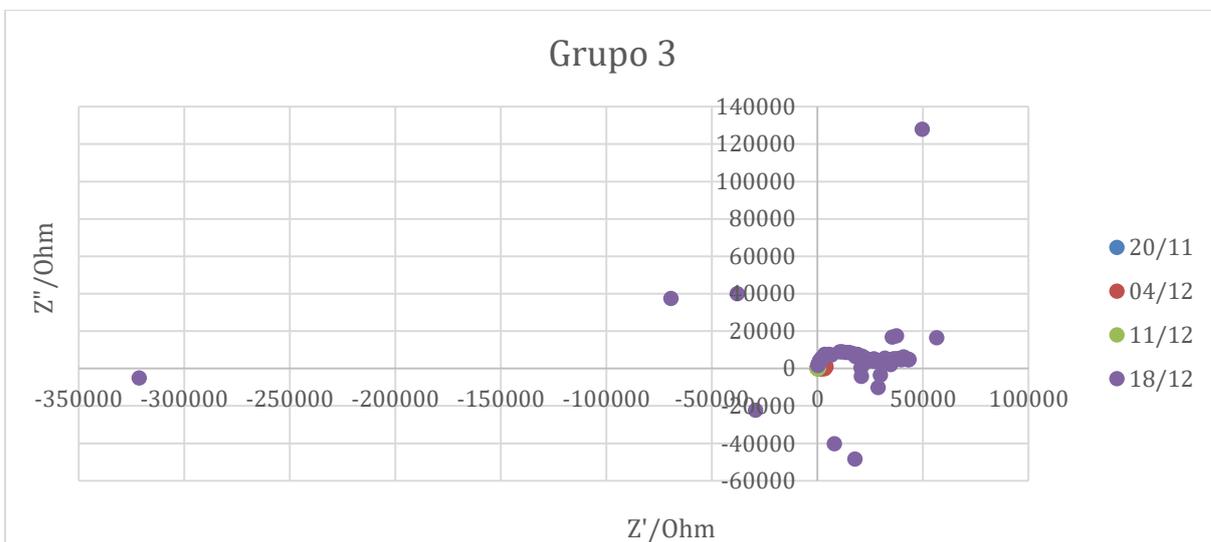
Fonte: O autor.

Figura 31 – Grupo 2 ensaio 2.



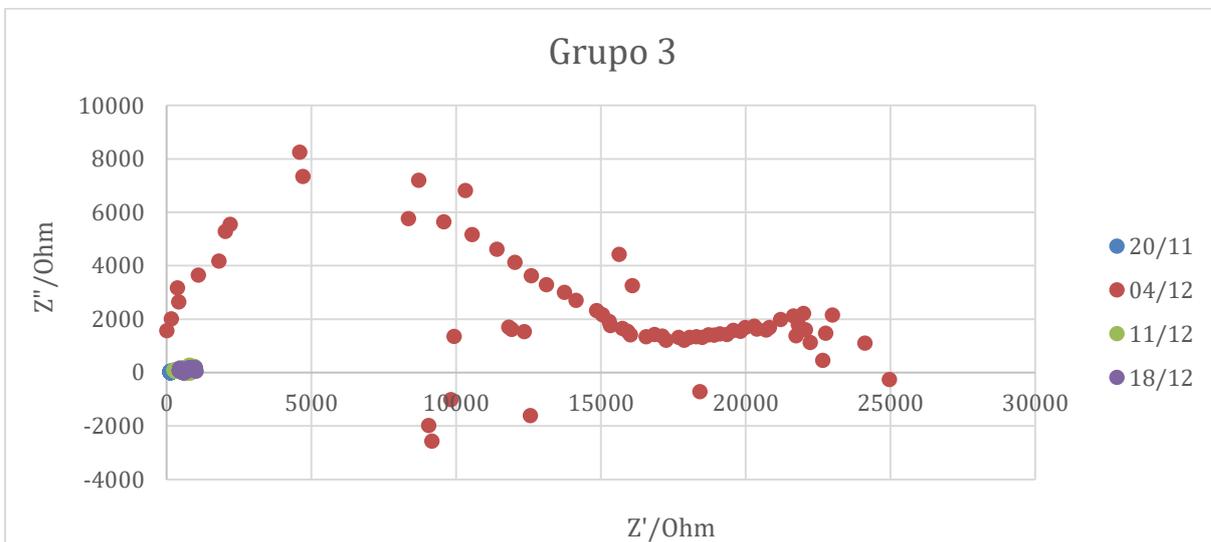
Fonte: O autor.

Figura 32 – Grupo 3 ensaio 1.



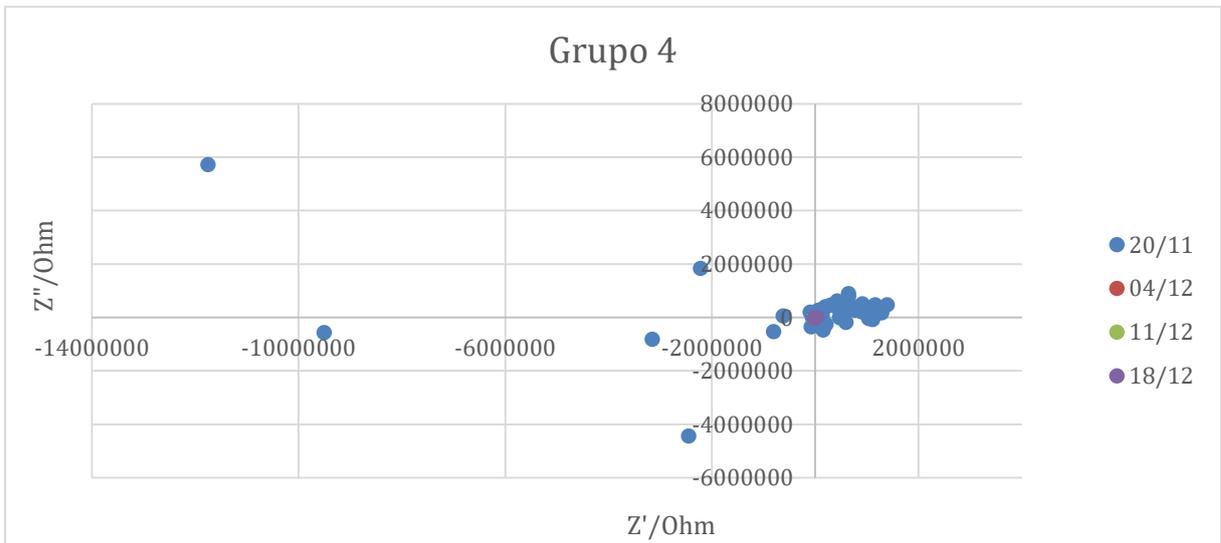
Fonte: O autor.

Figura 33 – Grupo 32 ensaio 1.



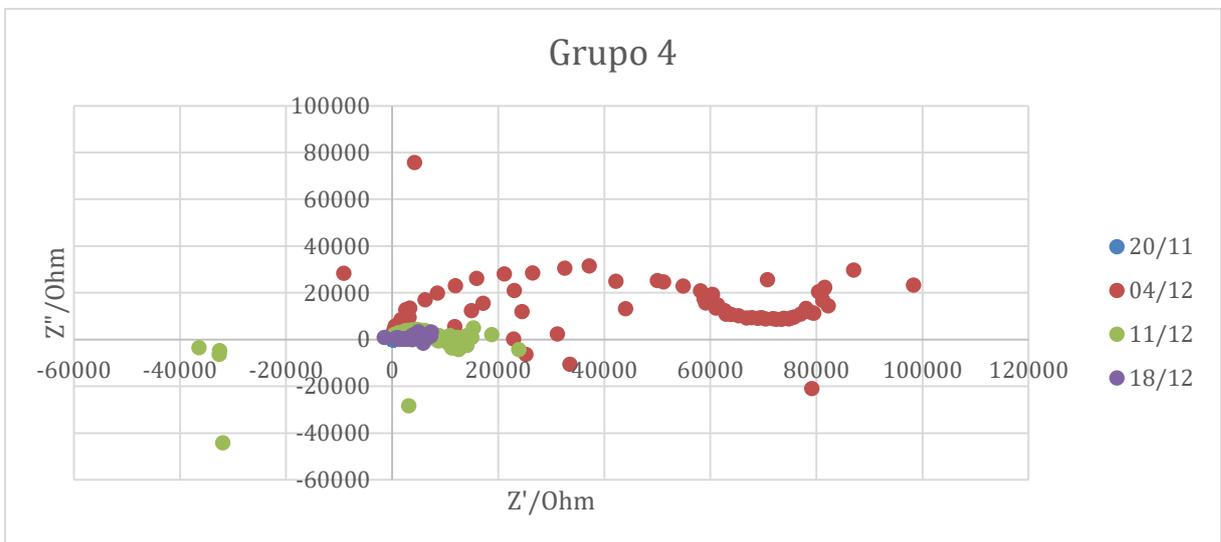
Fonte: O autor.

Figura 34 – Grupo 4 ensaio 1.



Fonte: O autor.

Figura 35 – Grupo 4 ensaio 2.



Fonte: O autor.

6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

6.1 Análise Química

Na análise química verificou-se que a composição química é classificada como aço de baixo carbono sem elementos de liga. Esta condição é tipicamente caracterizada como favorável aos processos corrosivos [1]. O carbono equivalente encontrado é típico de aços de elevada soldabilidade.

6.2 Análise da Microestrutura do Substrato

A microestrutura do substrato foi constituída por ferrita e perlita típica de aços hipoeutetóides de baixo carbono [5].

Não foram detectadas anisotropias ou bandeamentos nas análises em cortes longitudinais. A presença do elevado volume de ferrita nas estruturas marítimas que são produzidas pelas necessidades de aços de elevada soldabilidade representam fator importante para a sua reduzida resistência a corrosão [8]. Devido a estas características existe elevada necessidade de métodos de proteção do substrato.

6.3 Comportamento do Revestimento de Fundo e Revestimento Final

O revestimento de fundo apresentou aplicação homogênea não sendo detectadas variações significativas na sua espessura. Os revestimentos finais também apresentaram comportamento homogêneo com espessura média de 150 μ m. A homogeneidade do revestimento de fundo e revestimento final representa fator fundamental para a ancoragem dos filmes [5].

5.4 Ensaios de Corrosão

A capacitância de um revestimento é diretamente proporcional à área e inversamente proporcional a espessura do revestimento [25]. Foi utilizada a maior área possível nos experimentos para melhorar a sensibilidade do equipamento, no entanto, o revestimento espesso pode reduzir muito essa sensibilidade [25].

O tempo de ensaio, no caso os revestimentos tivessem degradado no período de ensaio, teríamos observado semicírculos mais definidos. E mesmo aqueles que apresentaram semicírculo bem definido, a resistência à polarização foi elevada. Detectou-se em alguns comportamentos referentes ao desprendimentos de óxidos e posterior aceleração do processo de corrosão. O melhor resultado foi detectado nas amostras com preparação do substrato mais adequada, podendo verificar-se nas curvas de impedância maior inclinação com o tempo de ensaio.

7. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos conclui-se que:

- A condição preliminar dos substratos é condição crítica para o bom comportamento dos revestimentos aplicados;
- A aplicação de todos os filmes orgânicos foi efetiva no aumento da resistência a corrosão;
- A remoção de óxidos na superfície dos substratos foi fundamental para o aumento da resistência a corrosão;
- A deposição de filme orgânico foi uniforme em todas as amostras;
- A aplicação do jateamento com cobalto foi efetiva para remoção de óxidos superficiais.

8. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se que o ensaio de corrosão seja realizado em ambiente marítimo, em diferentes localidades e condições, por exemplo: norte e sul do Brasil, próximo também à outras indústrias, em alto mar, na costa, etc.

Deste modo, será possível identificar uma correlação entre o tempo de testes, modos de preparação de superfície e deposição com o realizado neste trabalho.

8. REFERÊNCIAS

[1] Frauches-Santos, C.; Albuquerque, M.A.; Oliveira, M. C. C.; Echevarria, A. A Corrosão e os Agentes Corrosivos. Revista Virtual de Química, 2014.

[2] Rocha, J.; Gomes, J. Inibidores de corrosão naturais – Proposta de obtenção de produtos ecológicos de baixo custo a partir de resíduos industriais. Revista Matéria, 2017.

[3] Caser, J. Influência do tipo de abrasivo de jateamento no desempenho de esquemas de pintura sobre aço carbono. Dissertação de M.Sc., Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil, 2008.

[4] Merçon, F.; Guimarães, P.; Mainier, F. Corrosão: Um exemplo usual de fenômeno químico. QNEsc, 2004.

[5] Alves, L. Análise de Métodos para Identificação de Tipos de Corrosão e de Substâncias Corrosivas através de Ruído Eletroquímico. Dissertação de M.Sc., Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil, 2017.

[6] Frankel, G.; Sridhar, N. Undertading Localized Corrosion. Materials Today, 2008.

[7] Portal Metálica. Acesso em 28/07/2019.

[8] Finamore, D. Avaliação da corrosão uniforme e puntiforme em meio aquoso aerado utilizando a técnica de cupons de perda de massa. Tese de D.Sc., Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2016.

[9] Standard Guide for Examination and Evaluation of Pitting Corrosion. ASTM- American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA, 1999.

[10] Oliveira, A. Corrosão e tratamento de superfície. Rede e-Tec Brasil, 2012.

[11] Steel structures painting council: SSPC-SP12-1995. Surface Preparation and Cleaning of Steel and Other Hard Materials by High and Ultrahigh Pressure Water Jetting Prior to Recoating.

[12] ISO 8501-1 – Preparation of steel substrates before applicatin of paints and related products – Visual assessment of surfasse cleanliness – Part 1: Rust grades and peparation grades of uncoated steel substrates and of steel substrates after overall removal of previous coatings.

[13] ISO 12944-2.

[14] Informes Técnicos Cym – Sistema de Jateamento: Introdução Geral. Disponível em < <https://cym.com.ar/intranet/introduccion-sistema-jateamento-granalha-cymmateriales-jato-areia-turbinados-metalcym.pdf>> Acesso em 10/09/2019.

[15] Norma Técnica SABESP NTS 185 Preparo de superficies metálicas – Métodos alternativos ao jato de areia seca. São Paulo, outubro de 2002.

[16] Rental Pumps – Hidrojateamento de Alta Pressão. Disponível em <<https://www.rentalpumps.com.br/hidrojateamento-alta-pressao.php>> Acesso em 10/09/2019.

[17] DHR4 – Soluções Técnicas Anticorrosivas. Disponível em <<http://www.tintasanticorrosivas.com.br/informacoes-tecnicas/tintas-anticorrosivas/>> Acesso em 01/10/2019.

[18] Site Bosch. Disponível em < <https://www.bosch-professional.com/br/pt/products/>> Acesso em 20/02/2020.

[19] MARIANO, N. A., PEREIRA, V. F., RODRIGUES, C. A. D., LORENZO, P. L., ROLLO, J. M. D. A. Caracterização da temperabilidade e das curvas de transformação de fases de aços inoxidáveis martensíticos do tipo FeCrN. *Revista da Escola de Minas*, v.60, p. 163-167, 2007.

[20] DEXTER, S. C. Corrosion in seawater. In: CRAMER, S. D., COVINO Jr. B. S. *Corrosion: environments and industries*. Ohio: ASM Handbook, 2006. v.13C, p.27-41. 1137p.

[21] GRIFFIN, R. B. Corrosion in marine atmospheres. In: CRAMER, S. D., COVINO Jr., B. S. *Corrosion: environments and industries*. Ohio: ASM Handbook, v.13C, 2006. 1137 p., p. 42-60.

[22] Viana, R. O.; *O Programa de Corrosão Atmosférica Desenvolvido pelo CENPES*, Technical bulletin PETROBRAS, 1980, 23-1, p. 39.

[23] DICKIE, R. A. *Paint adhesion, corrosion protection, and interfacial chemistry*. Elsevier, 1994.

[24] Hoch, R., *Manual de Pintura Industrial – e elementos de pintura imobiliária profissional – no livro*. Editora Relâmpago, 1ª Edição, Porto Alegre, 2007.

[25] GENTIL, V. *Corrosão*. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

[26] WOLYNEC, S. Técnicas eletroquímicas em corrosão. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, 1998.

[27] ANDREATTA F., TURCO A., GRAEVE I., TERRY H., FEDRIZZI L. SKPFM and SEM study of the deposition mechanism of Zr/Ti based pre-treatment on AA6016 aluminum alloy. Surface & Coatings Technology v:201, p.7668-7685. 2007.

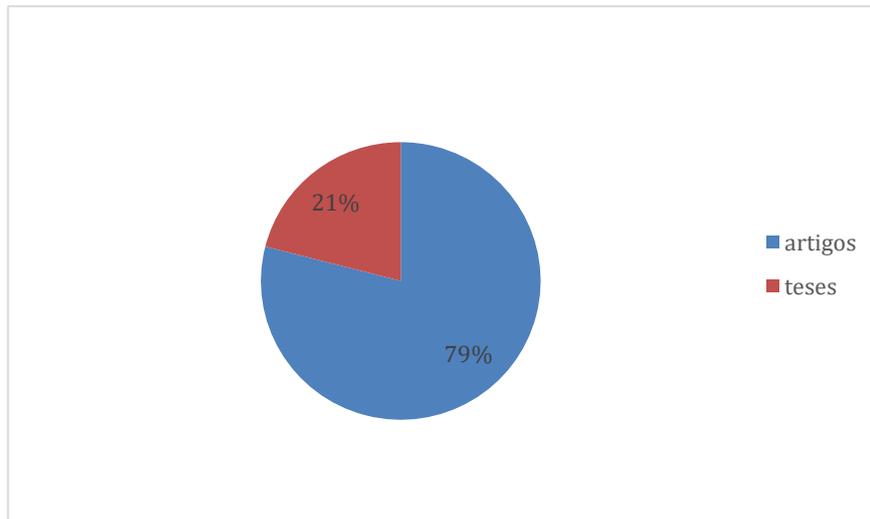
[28] WOLYNEC, S. Técnicas eletroquímicas em corrosão. São Paulo: EDUSP, 2003.

[29] MARTÍNEZ, I.; ANDRADE C. Application of EIS to cathodically protected steel: tests in sodium chloride solution and in chloride contaminated concrete.. Corrosion Science v. 50, n. 10, p. 2948-2958, 2008.

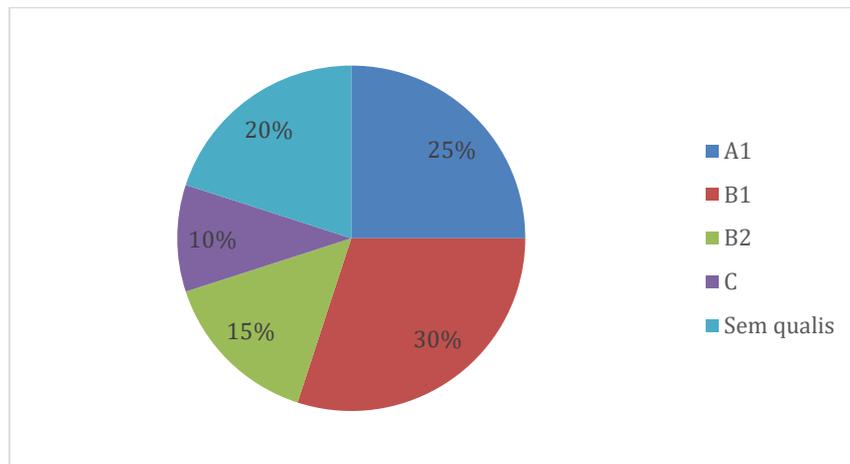
[30] SRIDHAR N.; BROSSIA C.; DUNN D.; ANDERKO A. Predicting Localized Corrosion in Seawater. Southwest Research Institute, 2004.

[31] DOLABELLA, L. Estudo eletroquímico sobre a corrosão de aço carbono e aço inoxidável em meio contendo cloreto na presença de extrato etanólico de própolis. Universidade Federal de Minas Gerais, 2016.

REFERÊNCIAS POR ESTRATO



REFERÊNCIAS POR QUALIS



REFERÊNCIAS POR DATA DOS ARTIGOS

