



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA  
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**CLEYVERTON RICARDO ARRUDA MOTA**  
**LEVI CARREIRO MONTE**

**IMPACTO DO PRÉ-TRATAMENTO COM JATEAMENTO ABRASIVO EM  
PINTURA INDUSTRIAL PARA COMBATE À CORROSÃO EM ESTRUTURAS  
METÁLICA**

São Luís - MA

2025

**CLEYVERTON RICARDO ARRUDA MOTA**  
**LEVI CARREIRO MONTE**

**IMPACTO DO PRÉ TRATAMENTO COM JATEAMENTO ABRASIVO  
EM PINTURA INDUSTRIAL PARA COMBATE À CORROSÃO EM  
ESTRUTURAS METÁLICAS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia civil como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro civil.

Orientador: Prof. Marcos Aurélio Araújo Santos

São Luís - MA

2025

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).  
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Carreiro Monte, Levi.

IMPACTO DO PRÉ TRATAMENTO COM JATEAMENTO ABRASIVO EM  
PINTURA INDUSTRIAL PARA COMBATE À CORROSÃO EM ESTRUTURAS  
METÁLICAS / Levi Carreiro Monte, Cleyverton Ricardo Arruda  
Mota. - 2025.

48 f.

Orientador(a): Marcos Aurélio Araújo Santos.

Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Civil,  
Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2025.

1. Tratamento. 2. Jateamento. 3. Corrosão. I.  
Araújo Santos, Marcos Aurélio. II. Arruda Mota,  
Cleyverton Ricardo. III. Título.

**CLEYVERTON RICARDO ARRUDA MOTA  
LEVI CARREIRO MONTE**

**IMPACTO DO PRÉ TRATAMENTO COM JATEAMENTO ABRASIVO EM  
PINTURA INDUSTRIAL PARA COMBATE À CORROSÃO EM ESTRUTURAS  
METÁLICAS**

A banca examinadora, conforme abaixo-assinado, certifica a adequação deste trabalho de conclusão de curso para obtenção do grau de Engenharia Civil.

São Luís, 07 de Março de 2025.

**BANCA EXAMINADORA**

---

**Prof. Marcos Aurélio Araújo Santos (Orientador)**  
UFMA

---

Prof. Paulo Sergio Santos Moreira  
1º Avaliador

---

Brendon Kauir Araújo Oliveira  
2º Avaliador

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, pela força, sabedoria e fé que me conduziram ao longo desta jornada. Sou eternamente grato pela bênção de poder concluir mais essa etapa importante da minha vida.

Agradeço à minha família, pelo amor incondicional, apoio e compreensão em todos os momentos, especialmente quando os desafios pareciam grandes demais. Vocês foram o alicerce que me impulsionou a seguir em frente.

A minha namorada, que sempre esteve ao meu lado, com palavras de incentivo, conselhos e risadas que aliviaram as dificuldades do caminho.

Agradeço imensamente ao meu orientador, Marcos Aurélio Araújo Santos, pelo apoio constante, orientação precisa e pela paciência ao me guiar por este processo. Seu compromisso com a minha evolução acadêmica e profissional foi fundamental para o sucesso deste trabalho.

Além disso, agradeço ao professor Doutor Ferdinando Marco Rodrigues Borges, pela colaboração inestimável durante os ensaios nos laboratórios e pelo compartilhamento de seu vasto conhecimento, que enriqueceu consideravelmente meu aprendizado.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, meu sincero agradecimento.

*"Mas os que esperam no Senhor renovarão as suas forças; subirão com asas como águias; correrão, e não se cansarão; caminharão, e não se fatigará."*

*Isaías 40:31*

## RESUMO

O aço-carbono ASTM A36 é amplamente utilizado na engenharia civil e na indústria devido à sua resistência mecânica e versatilidade. No entanto, sua alta suscetibilidade à corrosão pode comprometer a durabilidade de estruturas metálicas, exigindo métodos eficazes de proteção. O pré-tratamento da superfície, especialmente por meio do jateamento abrasivo, desempenha um papel fundamental na eficiência dos revestimentos anticorrosivos, pois promove a remoção de óxidos e impurezas, além de criar uma rugosidade favorável à adesão da tinta. Neste estudo, analisou-se o impacto do jateamento abrasivo na resistência à corrosão de chapas de aço-carbono. Para isso, foram comparadas amostras com e sem tratamento de jateamento, submetidas a ensaios de polarização eletroquímica, rugosidade e aderência. Os resultados mostraram que a peça jateada apresentou uma taxa de corrosão 60 vezes menor do que a peça com carepa, evidenciando a eficiência do tratamento. Portanto, conclui-se que o jateamento abrasivo combinado com a pintura industrial é essencial para prolongar a vida útil de estruturas metálicas expostas a ambientes agressivos. A remoção da carepa de laminação e a correta preparação da superfície são fatores determinantes para a eficácia da proteção contra corrosão, reduzindo custos de manutenção e aumentando a confiabilidade das estruturas.

Palavras chaves: aço carbono; corrosão; pré-tratamento; jateamento abrasivo; pintura.

## ABSTRACT

ASTM A36 carbon steel is widely used in civil engineering and industry due to its mechanical strength and versatility. However, its high susceptibility to corrosion can compromise the durability of metallic structures, requiring effective protection methods. Surface pre-treatment, especially through abrasive blasting, plays a crucial role in the efficiency of anticorrosive coatings, as it removes oxides and impurities while creating a roughness that enhances paint adhesion. This study analyzed the impact of abrasive blasting on the corrosion resistance of carbon steel sheets. To achieve this, samples with and without blasting treatment were compared, undergoing electrochemical polarization, roughness, and adhesion tests. The results showed that the blasted sample had a corrosion rate 60 times lower than the sample with mill scale, demonstrating the effectiveness of the treatment. Abrasive blasting allowed for better paint adhesion, significantly reducing electrochemical activity and increasing the material's resistance to degradation. Therefore, it is concluded that abrasive blasting, combined with industrial painting, is essential to extend the lifespan of metallic structures exposed to aggressive environments. The removal of mill scale and proper surface preparation are key factors in ensuring effective corrosion protection, reducing maintenance costs and increasing structural reliability.

Keywords: carbon steel; corrosion; pre-treatment; abrasive blasting; painting.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Formas de corrosão mais comuns .....	24
Figura 2 - Graus de oxidação de acordo com o intemperismo .....	25
Figura 3 - Aderência mecânica .....	30
Figura 4 - Peça com limpeza e rugosidade .....	30
Figura 5 - Representação esquemática das tintas .....	32
Figura 6 - Máquina de plasma .....	35
Figura 7 - Peças cortadas com auxílio da Máquina .....	35
Figura 8 - Corte utilizando a serra .....	35
Figura 9 - Máquina de jateamento .....	36
Figura 10 - Tanque de jateamento .....	36
Figura 11 - Bico de jato .....	36
Figura 12 - Chapa de aço com carepa de laminação .....	36
Figura 13 - Aspecto visual da chapa de aço carbono após o jateamento abrasivo com granalha de aço (grau de limpeza Sa3) .....	36
Figura 14- Registro do potencial elétrica amostra jateada .....	38
Figura 15- Celula eletroquímica .....	39
Figura 16 - Eletrolito NaCl .....	39
Figura 17- Amostra com carepa gráfico Potencial x Tempo .....	41
Figura 18- Amostra jateada gráfico Potencial x Tempo .....	41
Figura 19- Gráfico log(I) vs E peça jateada .....	42
Figura 20 - Gráfico log(I) vs E peça com carepa .....	43

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Composição química do aço carbono ASTM A36.....	34
Tabela 2 - Esquema de ensaios.....	37
Tabela 3 - Paramento comparativo entre as amostras estudadas.....	44
Tabela 4 - Ensaio de rugosidade.....	45

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

CR - Taxa de corrosão

NR - Norma Regulamentadora

ISO - Organização Internacional de normalização

OCP - ensaio de circuito aberto

PH - medida que indica acidez ou alcalinidade de uma substância

ASTM - American Society for testing and materials

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	14
1.1 Objetivos .....	15
1.1.1 Objetivo geral .....	15
1.1.2 Objetivos específicos .....	15
<b>2 METODOLOGIA</b> .....	16
<b>3 AÇO CARBONO</b> .....	17
3.1 Utilidades na construção civil .....	17
3.2 Vantagens na construção civil .....	17
3.3 Desvantagens na construção civil .....	18
<b>4 CORROSÃO</b> .....	19
<b>4.1 Meios Corrosivos</b> .....	20
4.1.1 Atmosfera .....	20
4.1.2 Aguas naturais .....	21
4.1.3 Solo .....	21
4.1.4 Produtos químicos .....	21
<b>4.2 Condições operacionais e tipos de corrosão</b> .....	22
<b>4.3 Condições prévias do substrato</b> .....	24
<b>4.4 Métodos preventivos</b> .....	26
4.4.1 Jateamento abrasivo .....	26
4.4.2 Equipamentos de jateamento .....	26
4.4.3 Tipos de abrasivo .....	27
4.4.3.1 GRAU Sa 1 .....	28
4.4.3.2 GRAU Sa 2 .....	28
4.4.3.3 GRAU Sa 2 1/2 .....	28
4.4.3.4 GRAU Sa 3 .....	29
4.4.4 Perfil de rugosidade .....	29
4.4.5 Pintura .....	30
<b>5 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	34
<b>5.1 Corpo de prova</b> .....	34
<b>5.2 Tratamento de superfície dos corpos de provas</b> .....	35
<b>5.3 Aplicação de esquema de pintura</b> .....	37
<b>5.4 Identificação dos corpos de provas</b> .....	37

<b>5.5 Métodos</b> .....	38
5.5.1 Ensaio de polarização .....	38
5.5.2 Ensaio de rugosidade .....	40
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	41
<b>6.1 Ensaio de polarização</b> .....	41
6.1.1 Comparação quantitativa entre peça jateada e peça com carepa .....	42
<b>6.2 Ensaio de rugosidade</b> .....	45
<b>7 CONCLUSÃO</b> .....	46
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	47

## 1 INTRODUÇÃO

As estruturas metálicas têm se consolidado como uma alternativa eficiente na construção civil, sendo amplamente utilizadas em edificações, pontes, galpões industriais e diversas outras aplicações. Arantes (2014) destaca que as estruturas metálicas oferecem uma grande versatilidade, permitindo o desenvolvimento de projetos inovadores e a otimização do espaço nas construções. Suas principais vantagens incluem elevada resistência mecânica, leveza, rapidez na montagem e flexibilidade arquitetônica. No entanto, apesar desses benefícios, ainda persistem equívocos e preconceitos sobre sua durabilidade, especialmente no que se refere à corrosão. Muitas vezes, associa-se erroneamente as estruturas metálicas a um alto risco de deterioração, o que leva à hesitação na sua escolha como sistema construtivo. Essa visão equivocada ocorre, em grande parte, devido ao desconhecimento sobre as soluções eficazes disponíveis para a proteção anticorrosiva.

A corrosão, um fenômeno natural resultante da interação do metal com agentes ambientais, pode comprometer a integridade e a vida útil das estruturas metálicas quando não são aplicadas técnicas adequadas de proteção (Fontana,2007). No entanto, o jateamento abrasivo, em conjunto com a pintura industrial, representa uma das estratégias mais eficientes para prevenir esse problema. O jateamento abrasivo é um processo essencial na preparação das superfícies metálicas, pois remove contaminantes, óxidos e revestimentos antigos, ao mesmo tempo em que promove a rugosidade necessária para a aderência dos revestimentos protetores (GENTIL,2011) Sem uma preparação superficial adequada, qualquer tipo de pintura aplicada à estrutura tende a falhar prematuramente, reduzindo sua eficácia na proteção contra a corrosão.

Diante desse contexto, este estudo tem como objetivo esclarecer os equívocos relacionados à durabilidade das estruturas metálicas, demonstrando a importância da preparação de superfícies por jateamento abrasivo e da aplicação de pintura industrial como estratégia essencial na proteção contra a corrosão. Serão abordados os principais desafios enfrentados por esse tipo de estrutura, os diferentes métodos e normas que regulamentam os processos de proteção anticorrosiva, bem como estudos de caso que evidenciam a eficácia dessa abordagem na prática. Com isso, busca-se contribuir para uma visão mais precisa e fundamentada sobre o uso das estruturas metálicas na construção civil, promovendo maior segurança e confiabilidade na sua aplicação.

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 Objetivo geral

Apresentar os impactos do pré-tratamento de superfície com jateamento abrasivo e pintura industrial para combate à corrosão em estruturas metálicas.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Enumerar os principais tipos de corrosão e os meios corrosivos;
- Realizar ensaios de polarização para determinar o comportamento eletroquímico das superfícies metálicas tratadas com jateamento abrasivo, comparando a resistência à corrosão com superfícies não tratadas;
- Analisar as características estruturais das camadas de proteção e como o tratamento de superfície impacta suas propriedades e vida útil do revestimento protetor nas estruturas metálicas;
- Avaliar a rugosidade superficial, com e sem preparação mecânica por jateamento, na performance anticorrosiva de processos de pintura;

## 2 METODOLOGIA

Visando os objetivos propostos pelo trabalho, optou-se por seguir a metodologia de Vergara(2012) que classifica a pesquisa quanto aos meios e quanto aos fins. A pesquisa dessa forma será caracterizada quanto aos meios, em bibliográfica, visto a necessidade de embasamento teórico para o desenvolvimento da mesma, a partir de livros, artigos e trabalhos científicos; e estudo de caso, por tratar-se de uma investigação realizada em laboratório, sobre um assunto específico, com maior profundidade. Quanto aos fins, a pesquisa será classificada como descritiva, pois apresentará informações tanto da literatura, quanto das práticas de laboratório de forma clara e objetiva; e explicativa, pois estabelecerá relações entre a literatura consultada, a prática desenvolvida no estudo de caso e a percepção dos autores deste trabalho de forma inteligível.

Para uma maior compreensão das etapas desenvolvidas nesta pesquisa, os tópicos a seguir apresentam o caminho percorrido para a obtenção dos objetivos propostos.

1 - Pesquisa bibliográfica: Obtenção de conhecimento sobre o aço carbono, os mecanismos de corrosão, e o tratamento com jateamento abrasivo em conjunto com a pintura industrial como métodos de proteção contra corrosão em estruturas metálicas.

2 - Coleta de dados em laboratório: Realização de experimentos e medições para análise dos resultados obtidos em relação ao desempenho do tratamento de superfície .

3 - Estudo de caso: Avaliação das vantagens do tratamento com jateamento abrasivo combinado com pintura industrial na proteção contra a corrosão em estruturas metálicas.

4 -Considerações finais.



### 3 AÇO CARBONO

O aço carbono é uma liga metálica formada principalmente por ferro e carbono, sendo o carbono o principal elemento de liga que confere as propriedades desejadas, como resistência, dureza e ductilidade. Dependendo da quantidade de carbono presente, o aço pode ser classificado em três tipos: baixo carbono (menos de 0,3%), médio carbono (0,3% a 0,6%) e alto carbono (acima de 0,6%) (Little,2012). Este material é amplamente utilizado na construção civil devido à sua combinação de resistência mecânica, facilidade de produção e custo relativamente baixo.

A composição química do aço carbono varia conforme a classe e a especificação do material, mas, em geral, inclui:

- Carbono (C): A principal liga, com valores típicos de 0,05% a 2,1%, dependendo do tipo de aço carbono.
- Manganês (Mn): Com conteúdo em torno de 0,60%, o manganês melhora a resistência e a dureza do aço.
- Silício (Si): Pode ser adicionado para melhorar a resistência à oxidação.
- Fósforo (P) e Enxofre (S): Presentes em pequenas quantidades, normalmente abaixo de 0,05%, mas em excesso podem comprometer a ductilidade e resistência do material (Scully,1990).

#### 3.1 Utilidades na construção civil

O aço ASTM A36, uma das variantes mais comuns de aço carbono, é frequentemente utilizado na construção civil para componentes estruturais como:

- Vigas e colunas em edifícios e pontes.
- Perfis estruturais para suportar cargas.
- Chapas de aço para reforçar estruturas metálicas.
- Tubos e barras de aço para suportar e distribuir cargas. Essas utilidades se devem à sua excelente soldabilidade, formabilidade e resistência a esforços mecânicos [2].

#### 3.2 Vantagens na construção civil

As vantagens do aço carbono na construção civil incluem:

1 - Alta resistência: O aço carbono é capaz de suportar grandes cargas e tensões, o que o torna ideal para aplicações estruturais.

2 - Boa soldabilidade: O material pode ser facilmente soldado, permitindo a

fabricação de componentes personalizados e a adaptação das estruturas conforme necessário.

3 - Ductilidade: A capacidade do aço de se deformar sem fraturar é importante para absorver impactos e outras forças aplicadas.

4 - Facilidade de fabricação: O aço carbono pode ser moldado e formado com relativa facilidade, reduzindo os custos de fabricação.

5 - Durabilidade: Quando bem protegido, o aço carbono tem uma longa vida útil em estruturas sujeitas a esforços constantes.

### **3.3 Desvantagens na construção civil**

Apesar das várias vantagens, o aço carbono também apresenta algumas desvantagens, principalmente:

1 - Susceptibilidade à corrosão: O aço carbono é altamente suscetível à oxidação e corrosão quando exposto a ambientes agressivos, como áreas com alta umidade ou substâncias químicas, o que pode comprometer sua durabilidade e resistência ao longo do tempo (Callister; Rethwisch, 2018)

2 - Custo de proteção: Para prevenir a corrosão, é necessário utilizar revestimentos ou tratamentos especiais, como pintura, galvanização ou aplicação de ligas antioxidantes, o que aumenta os custos de manutenção.

3 - Limitações em altas temperaturas: O aço carbono perde suas propriedades mecânicas em temperaturas elevadas, o que pode limitar sua aplicação em certos tipos de ambientes ou estruturas sujeitas ao fogo.

Em resumo, o aço carbono e o aço ASTM A36 são materiais fundamentais para a construção civil, oferecendo boas propriedades mecânicas e facilidade de processamento, mas exigem cuidados quanto à proteção contra corrosão e a sua aplicação em ambientes de alta temperatura.

## 4 CORROSÃO

A corrosão é a deterioração de material, geralmente metálico, por ação química ou eletroquímica do meio aliado ou não a esforços mecânicos. A deterioração representa alterações prejudiciais indesejáveis sofridas pelo material, tais como desgaste, variações químicas ou modificações estruturais [9]. Os problemas de corrosão são recorrentes e ocorrem nas mais diversas atividades, como nas indústrias químicas, petrolíferas, petroquímicas, navais e na construção civil. Todos os materiais metálicos estão sujeitos à corrosão quando expostos a um meio suficientemente agressivo. Assim, para utilizar esses materiais de forma adequada, é necessária uma análise prévia das variáveis que influenciam esse processo, entre as quais se destacam a especificação do material metálico utilizado, o meio corrosivo e as condições operacionais [9]. Essa análise permite compreender com maior clareza o mecanismo do processo corrosivo, possibilitando a escolha de medidas mais adequadas para a proteção dos materiais.

De modo geral, existem três tipos principais de corrosão como: corrosão química, eletroquímica e corrosão galvânica que apresentam diferenças significativas em seus meios e condições de ocorrência. Fontana (1987) explica que a corrosão química ocorre quando os metais interagem com substâncias químicas presentes no ambiente, o que leva à alteração da estrutura do material e pode comprometer a integridade das estruturas metálicas, especialmente quando fatores como umidade e oxigênio estão presentes. Por não gerar corrente elétrica, esse processo permite que o agente corrosivo atue diretamente sobre a superfície do metal, resultando na formação de uma camada corrosiva superficial. Por outro lado, Craig (1988) descreve a corrosão eletroquímica como um processo em que ocorrem reações de oxidação e redução em diferentes áreas de um metal, resultando na degradação progressiva do material devido à transferência de elétrons. A corrosão eletroquímica é o tipo mais comum na natureza, desempenhando um papel crucial na degradação de materiais metálicos, especialmente no contexto deste trabalho. Esse processo ocorre em condições específicas, sendo indispensável a presença de água no estado líquido para que a reação se desenvolva. Além disso, costuma manifestar-se em temperaturas abaixo do ponto de orvalho da água, predominando em ambientes de temperatura ambiente. Essas características tornam a corrosão eletroquímica um fenômeno relevante para estudos relacionados à proteção de estruturas metálicas. Por fim, a corrosão galvânica acontece quando dois metais diferentes entram em contato elétrico em um ambiente condutor, como água ou umidade, gerando uma reação eletroquímica que provoca a corrosão de um dos metais. Esse processo ocorre devido à diferença nos potenciais

eletroquímicos entre os metais envolvidos. O metal com um potencial eletroquímico mais baixo (ânodo) sofre a corrosão, enquanto o metal com maior potencial (cátodo) é protegido. Em termos práticos, o metal menos nobre libera íons, dissolvendo-se, enquanto o metal mais nobre participa de uma reação de redução, sem ser corroído. Esses efeitos impactam diretamente na capacidade mecânica e vida útil das estruturas, por isso, ao se pensar em realizar uma edificação com uso de estruturas metálicas deve se levar em conta todas as ações que a estrutura está sujeita a sofrer e dimensioná-las no anteprojeto das estruturas.

#### **4.1 Meios corrosivos**

Os meios corrosivos desempenham um papel fundamental no processo de deterioração de estruturas metálicas, sendo um dos fatores mais determinantes na intensidade e no tipo de corrosão que ocorre. A interação entre o material metálico e o ambiente ao qual está exposto pode gerar condições favoráveis para reações químicas ou eletroquímicas que comprometem a integridade da estrutura. Entre os meios corrosivos mais frequentes encontrados são: atmosfera, águas naturais, solo e produtos químicos, exemplos que acontecem em maior escala.

##### **4.1.1 Atmosfera**

Segundo Gentil (2011), as perdas econômicas associadas à corrosão atmosférica representam cerca de metade dos custos totais relacionados à corrosão, o que destaca a relevância desse tipo de ambiente corrosivo. Caracteriza pela interação entre o material e os componentes presentes no ar, como oxigênio, umidade, gases poluentes e partículas suspensas. A corrosão neste meio pode variar amplamente dependendo das condições climáticas, geográficas e industriais da região. A umidade relativa tem acentuada influência na ação corrosiva da atmosfera. Em níveis de umidade abaixo de 60%, o processo de corrosão ocorre de forma lenta. No entanto, à medida que a umidade relativa aumenta, o processo se acelera. Essa aceleração é ainda mais significativa quando há a presença de poluentes, que intensificam a corrosão (Gentil, 2011). Dessa forma, a atmosfera pode ser considerada um meio corrosivo complexo, influenciado por uma combinação de fatores como a umidade, a presença de gases poluentes e material particulado, além da temperatura e da dinâmica dos ventos. A interação desses elementos pode acelerar significativamente o processo de corrosão, comprometendo a integridade das estruturas metálicas. A umidade, quando combinada com poluentes como dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>) ou cloretos, forma compostos ácidos que intensificam o ataque ao metal.

#### 4.1.2 Águas naturais

As águas naturais, como rios, lagos, águas subterrâneas e água do mar, são reconhecidas como meios corrosivos significativos devido à sua composição química variável e à presença de diferentes substâncias que favorecem a deterioração de materiais metálicos. De acordo com Fontana (2007), a corrosão em ambientes aquáticos é amplamente influenciada pela composição iônica da água, pelo pH, pela temperatura e pela concentração de oxigênio dissolvido. Estes fatores determinam a agressividade do meio e a velocidade do processo corrosivo. A água, especialmente quando contém sais dissolvidos como cloretos, sulfatos e carbonatos, pode acelerar o processo de corrosão. Segundo Shreir (2010), os cloretos, particularmente os encontrados na água do mar, são um dos agentes mais corrosivos para metais, uma vez que facilitam a formação de células galvânicas, onde ocorre o ataque eletroquímico nas superfícies metálicas. Em águas salinas, o contato contínuo com cloretos resulta na formação de uma camada de corrosão que compromete a integridade dos metais, levando ao surgimento de pite (corrosão localizada), um tipo de ataque que pode ser muito agressivo, especialmente em aço-carbono. A presença de oxigênio dissolvido na água também é um fator determinante no processo de corrosão.

#### 4.1.3 Solo

Fontana (1987) explica que o solo é um meio altamente agressivo para os materiais metálicos devido à sua umidade, presença de sais e ácidos, que favorecem as reações eletroquímicas e aceleram o processo de corrosão nos metais. A porosidade do solo determina a circulação de água e oxigênio, influenciando diretamente a formação de eletrólitos e a taxa de corrosão. Solos bem arejados, com maior oxigênio disponível, aceleram a oxidação do metal, enquanto solos saturados de água limitam a presença de oxigênio e, conseqüentemente, podem reduzir a taxa de corrosão superficial. A resistividade elétrica, que depende da composição do solo e da quantidade de sais dissolvidos, também afeta a corrosão, pois solos com baixa resistividade facilitam a condução elétrica, favorecendo reações galvânicas que aceleram a degradação dos metais. A presença de sais, como cloretos e sulfatos, pode ser particularmente agressiva, promovendo corrosão localizada e ataque por sulfatação. Além disso, o pH do solo é crucial: solos ácidos aumentam a solubilidade de metais e aceleram a corrosão, enquanto solos alcalinos podem reduzir a taxa de corrosão, mas ainda favorecem ataques por pitting em algumas condições.

#### 4.1.4 Produtos químicos

Na indústria, os contaminantes químicos desempenham um papel crucial no aumento da corrosão de materiais metálicos, afetando a durabilidade e a integridade das estruturas. Ácidos como clorídrico (HCl) e sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) são comumente utilizados em

processos industriais e, ao entrarem em contato com os metais, podem rapidamente destruir suas camadas protetoras, expondo-os a ataques corrosivos intensos (Fontana,2007). Além disso, cloretos, frequentemente presentes em diversos produtos químicos, promovem a corrosão localizada por pitting, devido à sua capacidade de penetrar nas superfícies metálicas e interagir diretamente com o material, acelerando a degradação[22]. A presença constante desses contaminantes em ambientes industriais pode resultar em falhas prematuras nas estruturas metálicas, comprometendo a segurança e a eficiência dos processos. Além dos ácidos e sais, compostos alcalinos como amônia (NH<sub>3</sub>) e hidróxido de sódio (NaOH) também são utilizados em várias indústrias e têm efeitos corrosivos significativos, especialmente em ligas como o aço inoxidável. Essas substâncias podem destruir a camada passiva de proteção do metal, favorecendo a corrosão intergranular, especialmente em concentrações elevadas.

#### **4.2 Condições operacionais e tipos de corrosão**

Segundo Gentil (1996) o processo de ceder elétrons e receber elétrons é considerado como reações de oxidação-redução, caracterizando o processo corrosivo. Sendo assim, o metal transfere seus elétrons para o agente oxidante, sendo ele o agente redutor sofrendo oxidação. Logo, a danificação no metal ao longo da sua superfície caracteriza-se como corrosão. A detecção da forma de degradação sofrido pelo material é muito importante nos processos corrosivos é comum caracterizá-lo a partir da morfologia da perda de material.

Os processos corrosivos são classificados de acordo com a aparência e aspectos afetados, tendo como principais:

a) Quanto às condições operacionais:

- Temperatura: Aumentos na temperatura geralmente aceleram os processos corrosivos, pois aumentam a taxa de reações químicas. Por exemplo, em sistemas de resfriamento, a corrosão pode ser mais intensa em áreas de alta temperatura (Rodrigues, 2019).
- Pressão: Em ambientes de alta pressão, como em caldeiras e reatores, a corrosão pode ser exacerbada devido ao aumento da solubilidade de gases corrosivos, como o oxigênio e o dióxido de carbono.
- Movimento do Fluido: A velocidade do fluido pode influenciar a corrosão. Em sistemas onde há fluxo turbulento, a corrosão erosiva pode ocorrer, removendo camadas protetoras do metal e expondo novas superfícies ao meio corrosivo (Rodrigues, 2019).
- Concentração de Agentes Corrosivos: A presença e a concentração de substâncias corrosivas, como cloretos, ácidos e bases, podem determinar a taxa e o tipo de corrosão. Por exemplo, a corrosão por cloretos é comum em ambientes marinhos.
- Tensões Mecânicas: Componentes submetidos a tensões mecânicas, como em

situações de fadiga ou estresse, podem sofrer corrosão sob tensão, onde rachaduras se formam e se propagam devido à combinação de estresse e ambiente corrosivo.

- **Imersão Parcial ou Total:** A corrosão pode variar dependendo se o material está totalmente ou parcialmente imerso em um meio corrosivo. A imersão parcial pode levar a formas específicas de corrosão, como a corrosão em fendas (Rodrigues, 2019).

b) Quanto ao aspecto da corrosão são classificadas em:

- **Corrosão uniforme:** Esse tipo de corrosão é caracterizado por uma perda uniforme de massa e espessura ao longo de toda a extensão do metal. Materiais como ferro e aço sofrem esse tipo de corrosão quando expostos a ambientes como atmosfera, solos e águas naturais. Essa forma de corrosão pode ser facilmente detectada pela perda de espessura e pela formação de uma camada de óxido na superfície do metal. (Gentil,2011).

- **Placas:** Os produtos da corrosão se concentram em áreas específicas da superfície, em vez de se espalharem por toda a sua extensão. Isso é comum em metais que formam uma película protetora, a qual aumenta progressivamente de volume até se desprender da superfície metálica, expondo o metal a um novo ataque corrosivo (Gentil,2011).

- **Alveolar:** Acontece quando os produtos da corrosão se acumulam em regiões específicas da superfície, ao invés de se distribuírem por toda a extensão. Isso é comum em metais que desenvolvem uma película protetora, que aumenta de volume progressivamente até se desprender da superfície metálica, expondo o metal a novos ataques corrosivos.

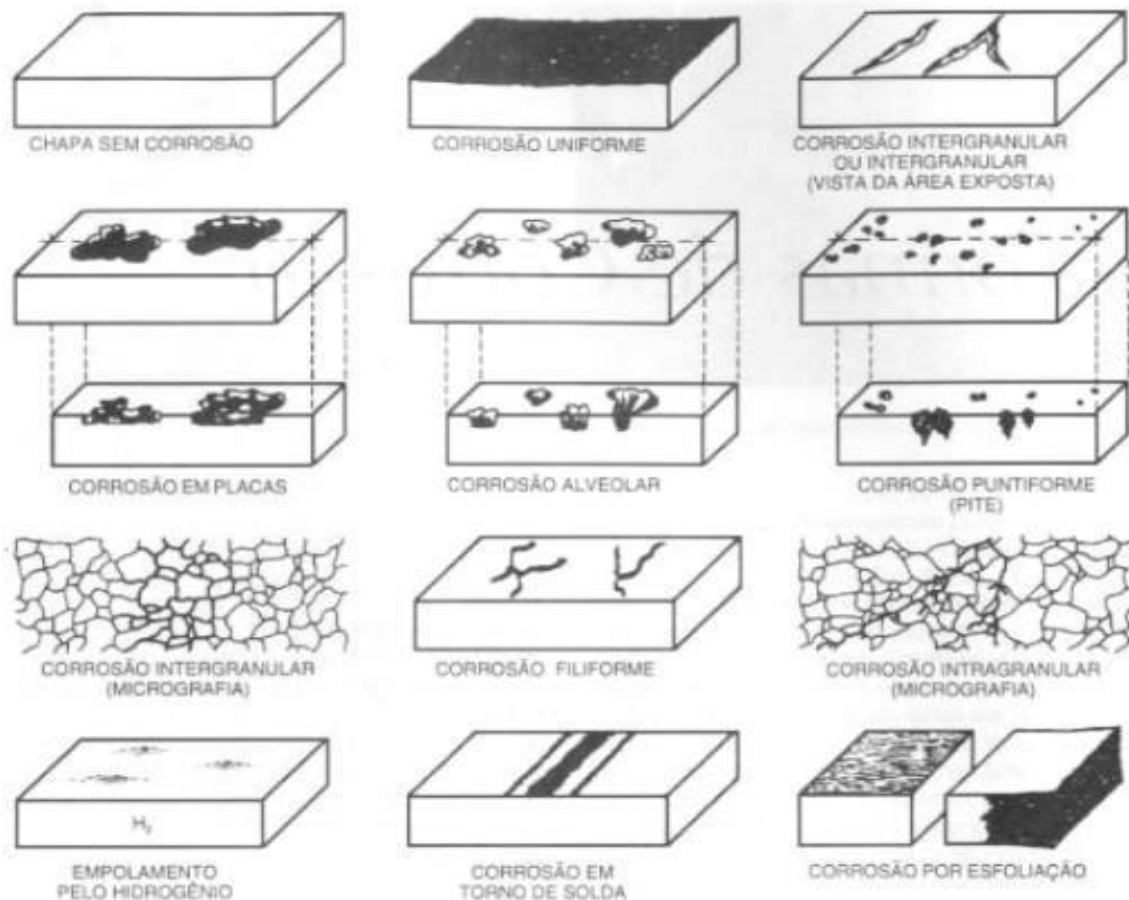
- **Puntiforme:** Este tipo de ataque, assim como a intergranular e intragranular, é uma das formas mais perigosas em que a corrosão pode-se apresentar. Neste caso a quantidade de material afetado não guarda relação com a magnitude dos inconvenientes. Durante a corrosão puntiforme, ou pite, o ataque se localiza em um ponto isolado da superfície metálica e se propaga até o interior do metal, muitas vezes transpassando (Scully,1990).

- **Intergranular (Intercristalina):** Este tipo de corrosão localiza-se entre os grãos da estrutura cristalina do material (contorno de grãos) metálico, o qual perde suas propriedades mecânicas e pode fraturar quando submetido a esforços mecânicos menores que o esperado, como é o caso da corrosão sob tensão fraturante.

- **Transgranular (Transcristalina):** Corresponde à corrosão que ocorre no grão da rede cristalina do metal. Pode causar também a corrosão por tensão fraturante. O ataque transgranular ocorre através dos grãos podendo troca a sua direção devido à orientação dos átomos que tem cada um dos grãos, o caminho que percorre este ataque depende da baixa resistência que apresenta cada grão

- **Filiforme:** A corrosão filiforme se processa sob a forma de finos filamentos que se propagam em diferentes direções e que não se cruzam. Ocorre geralmente em superfícies metálicas revestidas com filmes poliméricos, tintas ou metais ocasionando o deslocamento do revestimento

Figura 1 - Formas de corrosão mais comuns



Fonte: Gentil (2011)

• **Esfoliação:** a corrosão se processa em diferentes camadas e produto de corrosão, formado entre a estrutura de grãos alongados, separa as camadas ocasionando o inchamento do material metálico.

De modo geral o processo de corrosão causa grandes prejuízos econômicos e sociais, pois traz danos às estruturas de edifícios, carros, pontes, navios, etc., perdendo tais bens e assim, torna-se necessário que a indústria produza mais desses metais para substituir os que foram danificados. Estima-se que uma parcela superior a 30 por cento do aço produzido no mundo seja usada para reposição de peças e partes de equipamentos e instalações, deterioradas pela corrosão. (Nunes, ,1998).

### 4.3 Condições prévias do substrato

Preparar a superfície significa retirar todas impurezas e criar uma camada de rugosidade para maior aderência do material de revestimento. Dessa forma, existem diversas métodos para se realizar a preparação da superfície metálica, entre elas se destacam:

- A limpeza manual
- Limpeza mecânica;

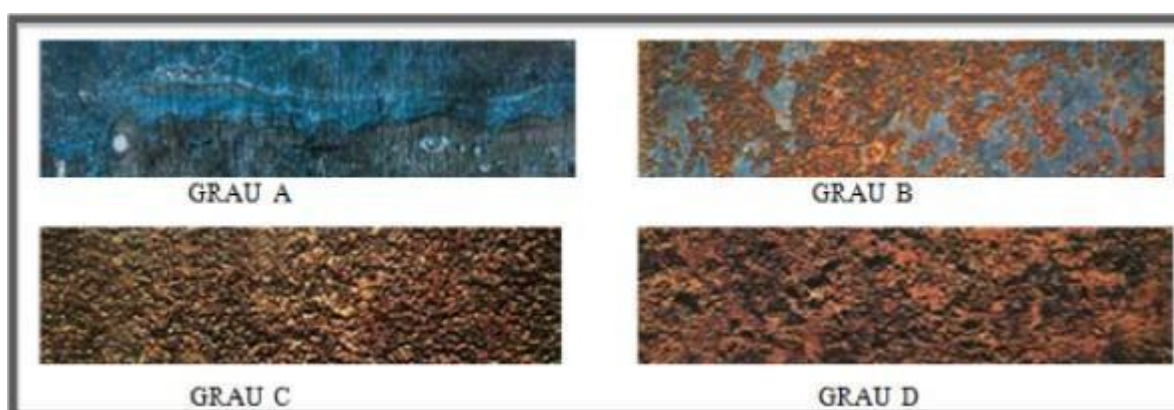


- Jateamento abrasivo;
- Limpeza a fogo
- Limpeza com solventes;
- Decapagem Química;
- Fosfatização

Entretanto, vale ressaltar que antes mesmo da definição do custo, prazo e método a ser utilizado na preparação da superfície, é fundamental analisar o aspecto visual do substrato. A ISO 8501-1 estabelece padrões para a avaliação prévia desse substrato de aço antes da aplicação de tintas e produtos relacionados. Dessa forma a ISO 8501-1 especifica uma série de graus de acordo com a oxidação presente no aço com os graus de intemperismo do substrato. Portanto, são descritos da seguintes formas:

- Grau A: Superfície de aço completamente coberta de carepa de laminação e aderente, com pouca ou nenhuma corrosão;
- Grau B: Substrato do aço com início de corrosão atmosférica da qual a carepa de laminação tenha começado a se deteriorar
- Grau C: Superfície de aço da qual a carepa de laminação tenha sido eliminada pela corrosão ou possa ser removida com uma espátula e possa apresentar poucos pites visíveis a olho nu.
- Grau D: Superfície de aço da qual a carepa de laminação tenha sido eliminada pela corrosão e apresente pites generalizados visíveis a olho nu.

Figura 2 - Graus de oxidação de acordo com o intemperismo



Fonte: WEG (2009)

A avaliação prévia do substrato de aço geralmente é realizada por inspetores treinados e qualificados. Eles examinam visualmente a superfície do aço e aplicam os critérios da norma para determinar os graus de ferrugem e preparação. Neste estudo, cabe salientar que serão abordadas as modalidades de tratamento da superfície com jateamento abrasivo que são amplamente utilizadas em estruturas metálicas que desempenham um papel crucial na manutenção e restauração de estruturas metálicas, especialmente em ambientes industriais,

marítimos e de construção civil. A escolha do tipo de abrasivo, método de jateamento e condições de operação depende das características específicas da estrutura e dos requisitos do projeto.

#### **4.4 Métodos preventivos**

##### **4.4.1 Jateamento abrasivo**

Método de preparação de superfícies de aço para pintura, utilizando basicamente um abrasivo como agente de limpeza, acionado por um jato de ar comprimido através de um bico aplicador para criar uma superfície limpa e um perfil de rugosidade da superfície do aço. Apesar da alta eficiência, a superfície deve ser pré-limpa com solvente para evitar a contaminação do abrasivo e da superfície com óleo e graxa [9]. Um sistema de jateamento refere-se a um conjunto de equipamentos e processos utilizados para realizar o jateamento abrasivo em superfícies.

##### **4.4.2 Equipamentos de jateamento**

- **Máquina Jato:** É um recipiente cilíndrico de fundo cônico que tem função de armazenamento e alimentação de abrasivo. Dependendo do tamanho e tipo da peça a ser processada, pode ser um dispositivo móvel ou uma câmara de jateamento.
- **Compressor de Ar:** Fornece a pressão de ar necessária para impulsionar o abrasivo em direção à superfície.
- **Tanque de Jateamento:** armazena o material de polimento que será utilizado durante o processo.
- **Abrasivos:** Vários tipos de materiais abrasivos podem ser usados, como granalha de aço, óxido de alumínio, seixos de vidro, etc. A escolha do abrasivo depende da aplicação específica e do material da superfície.
- **Sistema de Exaustão e Filtração de Poeira:** Para minimizar a dispersão de poeira abrasiva no ambiente, as pessoas costumam instalar sistemas de sucção e filtragem para capturar e remover partículas de poeira criadas durante esse processo.
- **Sistema de Controle e Monitoramento:** Controles para ajustar a pressão do ar, taxa de alimentação abrasiva e outros parâmetros do processo. Equipamentos de monitorização para avaliar a qualidade dos tratamentos superficiais e garantir o cumprimento das normas exigidas.
- **Equipamentos de Proteção Individual (EPI):** Incluem itens como capacetes, óculos de proteção, máscaras respiratórias e roupas especiais para proteger os operadores durante o processo de jateamento.
- **Área de Trabalho Específica:** A detonação é normalmente realizada em áreas designadas com medidas de segurança adequadas para conter poeira e proteger os operadores

e o meio ambiente.

Cada componente de um sistema de detonação desempenha um papel crítico em todo o processo, garantindo eficácia, segurança e conformidade com requisitos específicos da aplicação. O tipo de máquina de jateamento utilizada depende das características da superfície a ser tratada e da finalidade do processo, como limpeza, remoção de revestimento ou preparação para processamento posterior.

#### 4.4.3 Tipos de abrasivo

Diferentes tipos de abrasivos são utilizados para preparar a superfície das estruturas metálicas, dependendo dos requisitos específicos da aplicação, do tipo de revestimento a ser removido e das características da superfície metálica. Segundo Grainger (2011) destaca que a escolha do abrasivo deve levar em conta a natureza do material a ser tratado. Metais mais macios, como o alumínio, exigem abrasivos com dureza mais baixa, enquanto materiais mais duros, como o aço, podem ser tratados com abrasivos de maior agressividade

A seleção do material abrasivo desempenha um papel importante na eficácia do processo. O jato de areia, um agente jateador natural obtido de sedimentos e rios, começou a ser utilizado em 1904. É barato e aproximadamente 70% do material se decompõe em pó após o jateamento e pode ser reciclado após até dois ciclos. Entretanto, uso do jato de areia contendo sílica cristalina foi proibido no Brasil em 1995 pela **Fundacentro** (Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho), após a constatação dos riscos à saúde dos trabalhadores, especialmente a silicose, uma doença pulmonar irreversível causada pela inalação de partículas de sílica. A **NR-15** (Norma Regulamentadora 15), que trata das atividades e operações insalubres, foi atualizada para proibir a utilização de areia com sílica cristalina no processo de jateamento, incentivando o uso de materiais alternativos menos prejudiciais à saúde. No entanto, são permitidos outros tipos de abrasivos tais como granalha de aço, óxido de alumínio, escória de cobre (constituída principalmente de óxidos de ferro e de sílica), esferas de vidro e entre outros. Dentre os abrasivos, a granalha de aço tem um sistema de recuperação automática, com piso gradeado, transportadores helicoidais, elevadores de canecas e sistema de purificação das granalhas. As granalhas são feitas com um tipo especial de aço, sendo dividida em dois tipos importantes denominadas esféricas e angulares, se diferenciando por sua dureza e sua quantidade de vezes que é reciclável. No processo de jateamento abrasivo, deve-se ter o controle para se obter o grau de limpeza desejado. Fontana (1987) explica que, no processo de jateamento abrasivo, diversos fatores devem ser cuidadosamente controlados, como o tamanho do abrasivo, que determina a agressividade do processo e a rugosidade da superfície. Além

disso, a pressão do ar é crucial para garantir que o abrasivo seja impulsionado de maneira eficaz, otimizando a remoção de contaminantes. O controle da rugosidade também é fundamental, especialmente em superfícies que serão revestidas, garantindo o grau de limpeza necessário e a eficiência do processo.

Antes de iniciar o processo de limpeza mecânica com jateamento abrasivo, é fundamental que a superfície do substrato passe por uma remoção prévia de sujeira, óleos, sais e placas de corrosão. A Petrobras, assim como muitas outras organizações e setores industriais, segue padrões específicos para classificar os graus de limpeza alcançados durante o jateamento abrasivo. Esses padrões são cruciais para assegurar a consistência e a qualidade na preparação das superfícies. Em muitos casos, a Petrobras adota normas internacionalmente reconhecidas, como as estabelecidas pela SSPC (Society for Protective Coatings) e pela ISO (Organização Internacional de Normalização). Essas normas definem os níveis de limpeza com base na quantidade residual de contaminantes permitida na superfície após o jateamento abrasivo. De acordo com as normas ISO 8501-1 e ISO 8504-2, existem quatro graus de preparação para a limpeza por jateamento abrasivo.

#### *4.4.3.1 GRAU Sa 1*

**Jateamento Abrasivo Ligeiro:** Remoção de contaminantes solúveis, como óleo, graxa, sujeira e partículas soltas, sem visível formação de perfil de ancoragem. A carepa de laminação deve estar solta, a ferrugem e materiais estranhos não aderentes devem ser removidos. A aparência final deve corresponder às gravuras com designação Sa 1. Esta limpeza não se aplica a superfícies que apresentem Grau A de intemperismo original. Para as demais, os padrões de limpeza são: BSa 1, CSa 1 e DSa 1;

#### *4.4.3.2 GRAU Sa 2*

**Jateamento Abrasivo Comercial:** Inclui a remoção de uma variedade mais ampla de contaminantes, como revestimentos antigos, ferrugem moderada e partículas soltas. Removem-se praticamente toda carepa de laminação, óxidos e partículas estranhas. A superfície deve apresentar, então, coloração acinzentada e corresponder, em aparência, às gravuras com designação Sa 2. Esta limpeza não se aplica a superfícies que apresentem Grau A de intemperismo original. Para as demais, os padrões de limpeza são: BSa 2, CSa 2 e DSa 2

#### *4.4.3.3 GRAU Sa 2 1/2*

**Jateamento Abrasivo ao Metal quase Branco:** a carepa de laminação, a ferrugem e material estranho devem ser removidos de maneira tão perfeita que seus vestígios aparecem

somente como manchas tênues ou estrias (ISO, 2007). A superfície deve apresentar, então, aspecto correspondente às gravuras com designação Sa 2 1/2. Os padrões de limpeza são: ASa 2 1/2, BSa 2 1/2, CSa 2 1/2 e DSa 2 1/2;

#### 4.4.3.4 GRAU Sa 3

Jateamento Abrasivo ao Metal Branco: a carepa de laminação, a ferrugem e material estranho devem ser totalmente removidos. A superfície deve apresentar, então, coloração metálica uniforme, correspondente em aparência às gravuras com designação Sa 3. Os padrões de limpeza são: ASa 3, BSa 3, CSa 3 e DSa 3. É importante destacar que após a limpeza com jateamento, a superfície deverá ser limpa com aspirador de pó, ar comprimido seco ou limpo com uma escova para que a etapa posterior de revestimento tenha êxito. Além disso, existe o hidrojateamento, que se caracteriza por pela utilização da água em conjunto com o abrasivo para a limpeza da superfície, o hidrojateamento se caracteriza por inserção de um jato de alta pressão, que se utiliza pressão acima de 2000 pse ou 140 kg/cm<sup>2</sup> com pequena quantidade de abrasivo. Este processo é bem útil quando se trata de um substrato com alto índice de corrosão, pite e contaminados com sais de ferro, e é nesse processo que entra a grande importância da água que é a remoção desses sais que no caso não ocorre no jateamento seco. Uma das vantagens mais significativas do hidrojateamento é a produção reduzida de poeira durante o processo. Isso é particularmente benéfico em ambientes sensíveis à poeira ou em espaços confinados, onde a exposição à poeira pode ser prejudicial à saúde e a redução da poeira não apenas melhora as condições de trabalho para os operadores, mas também contribui para práticas mais seguras e ambientalmente amigáveis. A minimização da dispersão de contaminantes no ar é benéfica para a saúde ocupacional e para o meio ambiente circundante.

#### 4.4.4 Perfil de Rugosidade

No contexto do jateamento abrasivo, o perfil de rugosidade refere-se à textura superficial criada pela remoção de contaminantes ou revestimentos de um material. Esse perfil é formado pela ação do abrasivo, que impacta a superfície, criando irregularidades e conferindo uma textura específica. Superfícies com rugosidade excessiva podem aumentar o desgaste do revestimento e gerar tensões indesejadas, enquanto superfícies muito lisas podem comprometer a aderência, tornando o revestimento vulnerável a falhas. Portanto, é fundamental encontrar um equilíbrio entre a rugosidade e a aderência para garantir a durabilidade e a resistência à corrosão do material tratado.

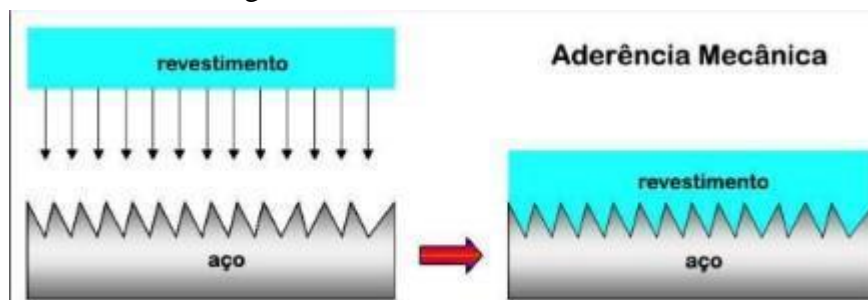
Grainger (2011) destaca que o perfil de rugosidade gerado pelo jateamento abrasivo tem grande influência na eficácia do revestimento e na proteção contra a corrosão. A aderência é um fator crucial para a vida útil dos revestimentos, especialmente quando se trata de pinturas utilizadas para proteção anticorrosiva em estruturas metálicas. Um revestimento com aderência inadequada pode falhar prematuramente, particularmente em ambientes com

alta umidade relativa ou elevados índices de névoa salina, o que pode resultar em patologias como empolamento, descascamento ou até mesmo corrosão, dependendo das condições do meio em que a estrutura se encontra. Dessa forma, a rugosidade desempenha um papel essencial na aderência do revestimento à superfície, pois facilita a ancoragem e a união entre substrato e revestimento, garantindo uma adesão eficaz e duradoura.

O perfil de rugosidade é medido utilizando rugosímetros, dispositivos que avaliam as irregularidades da superfície e fornecem uma medição numérica representativa da rugosidade, geralmente expressa em micrômetros ( $\mu\text{m}$ ) ou mils. Existem padrões de rugosidade estabelecidos por organizações como a SSPC (Society for Protective Coatings) ou a ISO (Organização Internacional de Normalização) que definem os requisitos para diferentes tipos de jateamento abrasivo e suas aplicações específicas.

Na Figura 3, é ilustrada a importância da aderência mecânica no processo de ancoragem de um substrato ao revestimento, enquanto na Figura 4 pode-se observar a diferença entre a aderência com contaminantes, como óleos e graxas, e a aderência em um substrato totalmente limpo.

Figura 3- Aderência mecânica



Fonte: ASTM (2014)

Figura 4- Peça com limpeza e rugosidade



Fonte: ASTM (2014)

#### 4.4.5 Pintura

Segundo a norma ISO 4618, tinta é um produto líquido ou em pó que quando aplicado sobre um substrato forma uma película opaca, com características protetoras decorativas ou técnicas particulares.

As tintas são compostas por 4 grupos de matérias-primas: solventes, resinas,

pigmentos e aditivos.

**Solvente:** Originado do petróleo os solventes têm por finalidade dissolver a resina, bem como, através da redução da viscosidade, facilitar a aplicação da tinta e permitir uma boa característica filmogênica. Além de sua volatilidade e seu poder de solvência, os solventes apresentam inflamabilidade e toxicidade. Eles apresentam um cheiro característico, mas já foram lançadas algumas tintas com solventes de baixo odor, como o aguarrás de baixo odor.

**Resinas:** São componentes que fornecem resistência às tintas e melhoram seu comportamento frente ao meio agressivo. As resinas são conhecidas como ligante ou veículo fixo, e são responsáveis pelas propriedades de continuidade, impermeabilidade e flexibilidade, além de permitir a aderência entre a tinta e o substrato, esse componente confere às tintas suas características predominantes. Por isso, as tintas são geralmente classificadas pelo tipo de ligante que as compõem: alquídicas, vinílicas, epoxídicas, poliuretânicas, fenólicas, silicônicas, etc, (Fazenda, 2009).

**Pigmentos:** O pigmento termocrômico é responsável por conferir a propriedade de mudança de cor à tinta de acordo com a temperatura empregada, sendo que eles podem ser orgânicos ou inorgânicos. Alguns pigmentos são chamados de funcionais, pois além de propriedades estéticas como cobertura e cor, eles possuem outras funções, como auxiliar na proteção contra a corrosão, seja por barreira ou mecanismo de inibição, ou também aumentar a resistência química e à temperatura. Exemplos desses pigmentos ou cargas funcionais são o fosfato de zinco, fosfosilicato de estrôncio, sílicas e esferas cerâmicas, que podem incrementar as propriedades de resistência de um revestimento industrial.(Gemelli, 2024).

**Aditivos:** São substâncias adicionadas às tintas para melhorar suas propriedades e desempenho. Eles podem atuar como agentes anti-sedimentação, anti-espumantes, secantes, entre outros. A escolha dos aditivos depende das características desejadas para a tinta e das condições de aplicação. Segundo Fazenda (2005), os aditivos são componentes que, mesmo adicionados em pequena quantidade às tintas, influem significativamente na manufatura, estabilidade, aplicabilidade, qualidade e aspecto do filme aplicado. O total de aditivos raramente excede 5% da composição de uma formulação. Um aditivo muito importante no combate à corrosão gerada por microrganismos é o biocida, que se enquadra na classe de aditivos de preservação.

#### 1 - Aplicação

A pintura pode ser utilizada como método de proteção anticorrosiva, principalmente nas construções e em objetos confeccionados em aço. São inúmeros benefícios atrelados a esse método: Facilidade de aplicação e manutenção; Ótimo custo-benefício; Estética; Sinaliza estruturas ou equipamentos; Identifica fluidos em tanques ou tubulações; Auxilia na segurança industrial; Impede a incrustação de microrganismos marinhos nos cascos das embarcações; Permite maior ou menor absorção de calor; Diminui a rugosidade superficial; Identifica falhas em isolamento térmico de equipamentos (Portanari, 2017).

Dentro da técnica de pintura é muito importante se ter um esquema de pintura

definido e claro. O esquema de pintura é um procedimento onde se especifica os detalhes técnicos envolvidos na aplicação, como por exemplo, o tipo de preparação e o grau de limpeza da superfície; as tintas de fundo, e de acabamento. Para ambientes mais agressivos, pode haver uma camada intermediária entre as mencionadas anteriormente. Diversos fatores são analisados para determinar a agressividade de um ambiente, como atmosfera urbana, industrial ou marinha, exposição a agentes químicos e outras intempéries. A combinação desses fatores, considerando a agressividade, tipo de exposição do revestimento e a vida útil esperada, leva à classificação dos esquemas de pintura em termos de desempenho. Além das normas e procedimentos a serem realizados para cada atividade. Na figura 5 ilustra-se o Esquema geral de pintura industrial.

Figura 5 - Representação esquemática das tintas



Fonte: Bard (2001)

#### A. Primer

As tintas de fundo também conhecidas como Primer, são responsáveis pela adesão do esquema ao substrato, podendo também conter pigmentos inibidores que dão proteção por inibição anódica. Segundo Nunes e Lobo(1998), este processo consiste na formação de uma camada passiva sobre a superfície do metal, impedindo a sua passagem para a forma iônica. Esses pigmentos são zarcão, cromato de zinco, etc.

#### B. Tintas intermediárias

Essas tintas são geralmente utilizadas em esquemas de pintura para aumentar a espessura do revestimento com menos demãos, visando melhorar as características de proteção por barreira. Para isso, são formuladas com alto teor de sólidos, permitindo a aplicação de espessuras elevadas por demão.

É importante destacar que existem tintas intermediárias que não são necessariamente de alta espessura, como as tintas seladoras. Elas são usadas para selar uma película de tinta porosa antes da aplicação da tinta de acabamento. Por exemplo, em esquemas de pintura com tintas de fundo ricas em zinco à base de silicatos, é recomendável aplicar uma demão de tinta intermediária epóxi ("tie coat") sobre a tinta de fundo rica em zinco para selar a superfície, evitando a formação de bolhas e o descascamento do revestimento.



### C. Tintas de acabamento

são as tintas que têm a função de conferir resistência química ao revestimento, pois são elas que estão em contato direto com o meio corrosivo. Além disso, são as tintas que conferem a cor final aos revestimentos por pintura

## 5 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo, serão apresentados os materiais empregados no desenvolvimento deste trabalho, assim como os métodos adotados para sua execução. A descrição inclui tanto os recursos utilizados quanto às etapas e técnicas seguidas para a realização das atividades propostas, fornecendo uma visão detalhada dos processos e das ferramentas envolvidas na pesquisa.

### 5.1 Corpo de Prova

Os corpos-de-prova foram elaborados a partir de chapas de aço carbono (ASTM A-36). As chapas apresentavam carepa de laminação em processo de desprendimento, correspondente ao grau de intemperismo B, conforme estabelecido pela norma ISO 8501-1 (3). As dimensões dessas chapas são de 5,5cm x 7cm, com espessura de 5 mm.

Para a obtenção das dimensões finais das chapas de aço, que foram utilizadas como corpos de prova, o material passou por dois processos distintos de recorte. A primeira etapa ocorreu na empresa POÇOSTEC filial em São Luís – MA, especializada em caldeiraria e usinagem no Maranhão. Neste processo, a chapa de aço ASTM A36 foi colocada em uma máquina de plasma (MASTER 35) para o corte das peças. O corte por plasma é um método que utiliza um jato de gás ionizado (plasma) a alta temperatura, gerado por uma corrente elétrica intensa, para fundir o metal e removê-lo de maneira eficiente. Na segunda etapa, o recorte das peças foi realizado de forma mais convencional no Departamento de Mecânica e Materiais (DMM) do Instituto Federal do Maranhão. Utilizou-se o método do arco de serra, que é uma técnica amplamente conhecida e empregada em trabalhos de ajuste de peças.

Tabela 1 - Composição química do aço carbono ASTM A36

<b>Ferro (Fe):</b>	<b>Carbono (C):</b>	<b>Manganês (Mn):</b>	<b>Fósforo (P):</b>	<b>Enxofre (S):</b>
98-99%	0,26-0,29%	0,60-0,90%	0,04%	0,05%

Figura 6 - Máquina de plasma



Fonte: Autor

Figura 7 - Peças cortadas com auxílio da Máquina



Fonte: Autor

Figura 8 - Corte utilizando a serra



Fonte: Autor

## 5.2 Tratamento de superfície dos corpos de provas

Após o corte das chapas de aço ASTM A36, utilizando máquina de plasma e lâmina de serra, todos os corpos de prova apresentavam carepa de laminação, uma camada superficial composta por óxidos de ferro formados pela reação do metal com o oxigênio do ambiente em temperaturas elevadas durante o processo de laminação a quente.

Para a remoção dessa camada, alguns dos corpos de prova foram submetidos ao método de tratamento de superfície. O método consistiu no jateamento abrasivo, no qual foi alcançado o grau de limpeza Sa 3 (metal branco), conforme especificado na norma ISO 8501-1.

As Figuras 9, 10 e 11 apresentam, respectivamente, o compressor utilizado no processo de jateamento, o tanque de pressão para lançamento do abrasivo e o bico de jato. O abrasivo empregado foi granalha de aço angular, com diâmetro médio variando entre 0,7 mm e 1,0 mm.

A Figura 12 ilustra o aspecto visual da chapa metálica após o tratamento com jateamento abrasivo, evidenciando o grau de limpeza Sa 3, que corresponde a uma superfície metálica totalmente exposta, sem vestígios de óxidos, tintas ou outros contaminantes, conforme descrito anteriormente

Figura 9- Máquina de jateamento



Figura 10- Tanque de jateamento



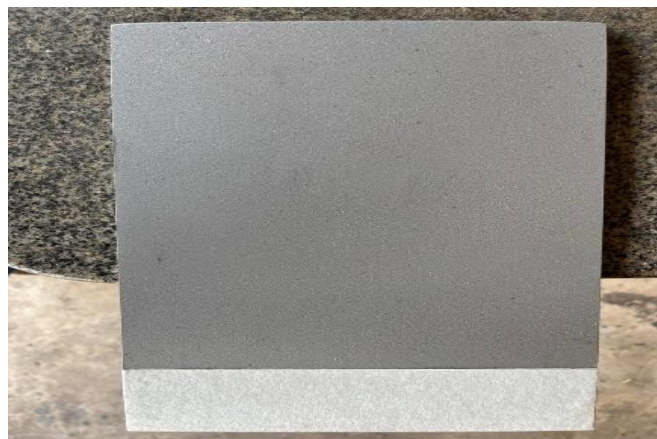
Figura 11- Bico de jato



Figura 12 - Chapa de aço com carepa de laminação



Figura 13- Aspecto visual da chapa de aço carbono após o jateamento abrasivo com granalha de aço (grau de limpeza Sa3)





### 5.3 Aplicação de esquema de pintura

Neste estudo, foram utilizados dois tipos diferentes de amostras: aquelas que passaram pelo processo de tratamento de superfície, por meio de jateamento abrasivo, e aquelas que foram revestidas sem tratamento, mantendo a carepa de laminação na superfície. Em ambas as amostras, foi aplicada duas demãos de pintura epóxi cinza, conforme as especificações da Norma Petrobras N-1198, utilizando trincha para a aplicação.

A escolha da tinta epóxi foi motivada pela sua alta resistência à corrosão, sendo especialmente indicada para ambientes industriais agressivos, como as regiões salinas, que simulam as condições climáticas de São Luís – MA, onde as estruturas metálicas estão frequentemente expostas a um ambiente de alta umidade e presença de sal. A aplicação da tinta seguiu rigorosamente as recomendações do fabricante, garantindo a espessura adequada para cada demão, o tempo de secagem entre camadas e as condições ideais de temperatura e umidade, a fim de assegurar a qualidade do revestimento. A tinta utilizada se trata da Acrolon 355 vide figura, que é um revestimento poliuretano acrílico alifático bicomponente, utilizado como tinta de acabamento. Possui excelente resistência ao intemperismo, garantindo retenção de cor e brilho por longos períodos. Sua aplicação pode variar entre 40 e 80 micrômetros de espessura, sem comprometer a cobertura ou o alastramento, seu uso é recomendado para estruturas metálicas, guarda-corpos e corrimãos ente outros equipamentos.

### 5.4 Identificação dos corpos de provas

As identificações utilizadas nos corpos-de-prova e a distribuição dos mesmos nos ensaios são apresentadas a seguir

Tabela 2 - Esquema de ensaios

Condição da chapa	Preparação de Superdíce	Esquema de pintura	Ensaio	Identificação
Grau B de contaminação	Sem preparo	N-1198 Duas demãos	Ensaio de Rugosidade	1 Com carepa
			Polarização potencioestática	1 sem tratamento
Grau B de contaminação	Jateamento (SA3)	N-1198 Duas demãos	Ensaio de Rugosidade	1 jateada
			Polarização potencioestática	1 Com jateamento

Fonte: Autor

## 5.5 Métodos

### 5.5.1 Ensaio de polarização

O teste de polarização eletroquímica é amplamente utilizado na engenharia para investigar o comportamento de metais em ambientes corrosivos. Com essa técnica, é possível obter dados sobre a taxa de corrosão, a suscetibilidade a formas específicas de degradação, como pitting e corrosão por frestas, além de avaliar a eficácia de inibidores e revestimentos protetores. O princípio do ensaio consiste na aplicação de um potencial elétrico ao metal imerso em um eletrólito e na medição da corrente gerada pelas reações eletroquímicas na interface metal/solução, permitindo analisar a cinética das reações anódicas e catódicas, e assim compreender os mecanismos de corrosão do material em estudo (Fontana,2007).

Conforme descrito por Enori Gemeli, nos ensaios em circuito aberto, o potencial elétrico é monitorado ao longo do tempo a partir do momento em que o eletrólito entra em contato com a área de teste do eletrodo de trabalho. Durante esse procedimento, o equipamento apenas registra o potencial elétrico da amostra em relação ao eletrodo de referência, conforme descrito na figura 5.9.

Figura 14 - Registro do potencial elétrica amostra jateada



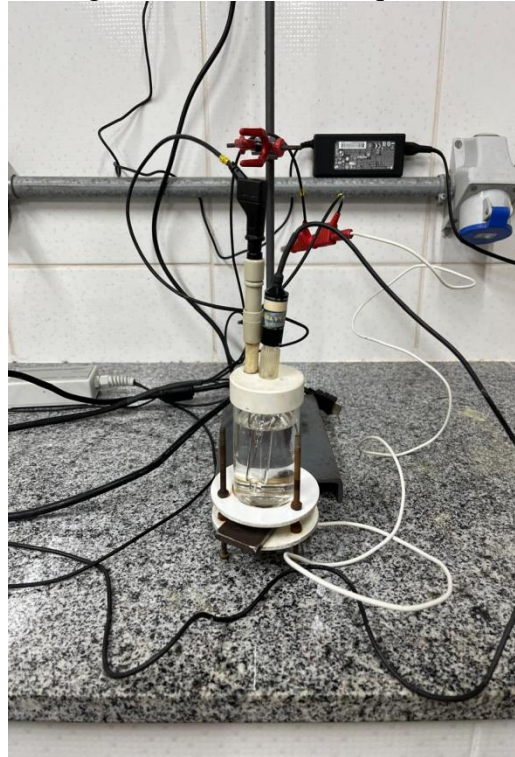
Fonte: Autor

Para a realização do ensaio, emprega-se uma célula eletroquímica, conforme ilustrado na figura 14, composta por três eletrodos: o eletrodo de trabalho, que corresponde ao material em análise; o eletrodo de referência, que possui um potencial fixo e conhecido, assegurando a precisão das medições; e o eletrodo auxiliar, tipicamente confeccionado em platina ou grafite, cuja função é fechar o circuito elétrico sem interferir nas reações ocorrendo no eletrodo de trabalho. O controle do potencial aplicado e a medição da corrente gerada são realizados por meio de um potenciômetro, dispositivo que permite a variação controlada do potencial e o registro das respostas eletroquímicas do sistema.

Para esse ensaio utilizamos o NaCl 3,5% como eletrólito, na preparação da solução, foi utilizado 35 gramas de Cloreto de potássio (NaCl 3,5%) e diluído em 1 Litro de Água

destilada, conforme a figura 15.

Figura 15- Celula eletroquimica



Fonte: Autor

Figura 16 - Eletrolito NACL



Fonte: Autor

Os elétrodos utilizado foram:

- Elétrodo de trabalho – Amostra de aço A-36
- Elétrodo de referencia - Elétrodo de prata e Cloreto de prata (ag/agcl)
- Elétrodo auxiliar – Contra elétrodo de platina (PT)

### 5.5.2 Ensaio de rugosidade

Utilizou-se um rugosímetro analógico Elcometer. para o ensaio de rugosidade. Seguindo as diretrizes estabelecidas pela NBR 15488 (2007) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Antes da aplicação da pintura, foram realizadas medições em três pontos distintos de cada corpo de prova, com foco no parâmetro Rz, que expressa a variação entre os picos e vales da superfície.



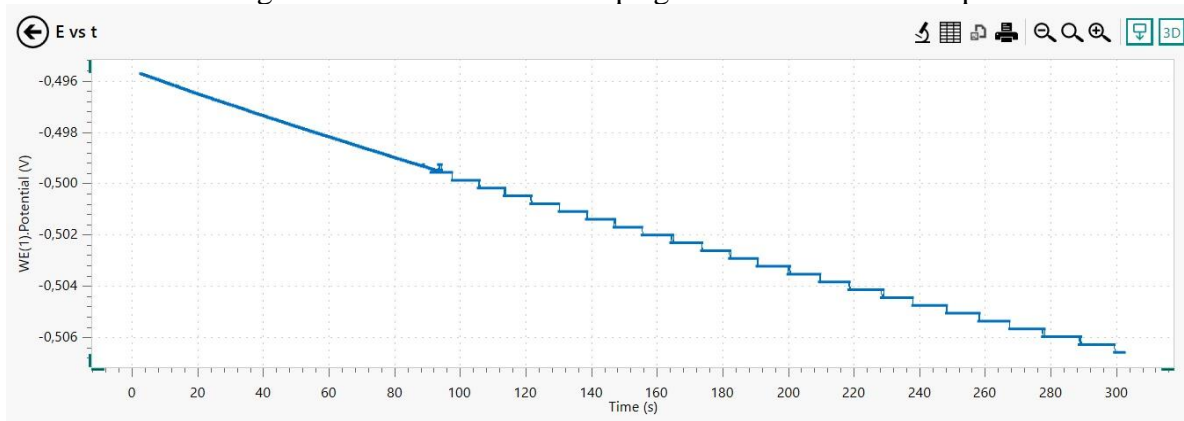
## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.1 Ensaio de polarização

Para esse ensaio foram utilizadas dois grupos de amostras, peças com tratamento (Jateamento abrasivo Sa3) e sem tratamento (Presença de carepa de laminação). Foram constatados que o tempo de estabilização dos potenciais elétricos, em circuito aberto (OCP), das amostras com e sem tratamento foram 450s. Esse tempo de estabilização é necessário para realizar os ensaios com circuito fechado, aplicado uma corrente com ajuda do potenciômetro a partir desse tempo.

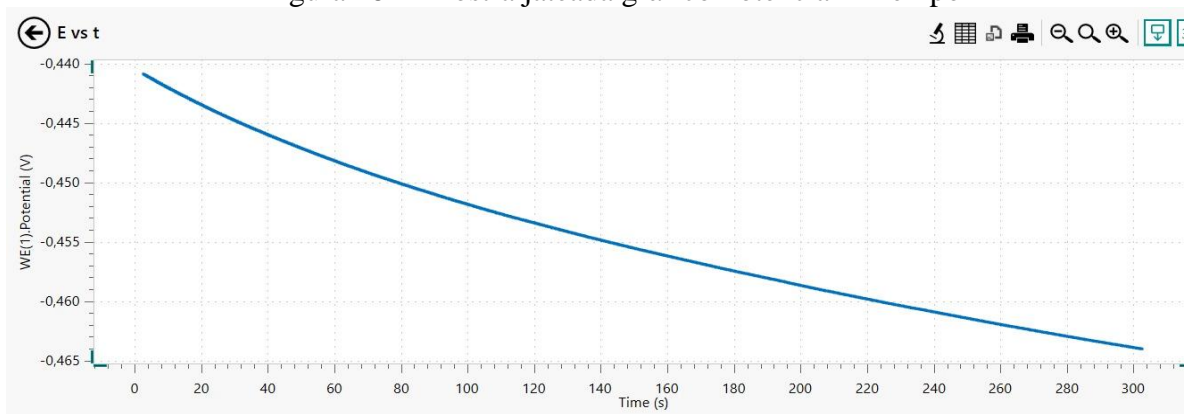
Portanto, o valor do potencial de corrosão medido com circuito aberto ( $E_{corr}$ ) é de aproximadamente  $-0,65\text{v}$  para Jateada e  $-0,55\text{v}$  para com carepa, conforme gráfico abaixo:

Figura 17 - Amostra com carepa gráfico Potencial x Tempo



Fonte: Autores

Figura 18- Amostra jateada gráfico Potencial x Tempo



Fonte: Autores

Após esse período foi realizado, na mesma amostra, o ensaio de polarização potenciodinâmica a  $1\text{ mV}\cdot\text{s}^{-1}$ , com varredura no sentido positivo do potencial, do menor para o maior valor, iniciando em  $-1,177\text{ V}$  até  $-0,877\text{ V}$ . Pode-se observar na Figura a que a densidade de corrente tem valor igual a zero quando o potencial  $E_{cor}$  é de aproximadamente

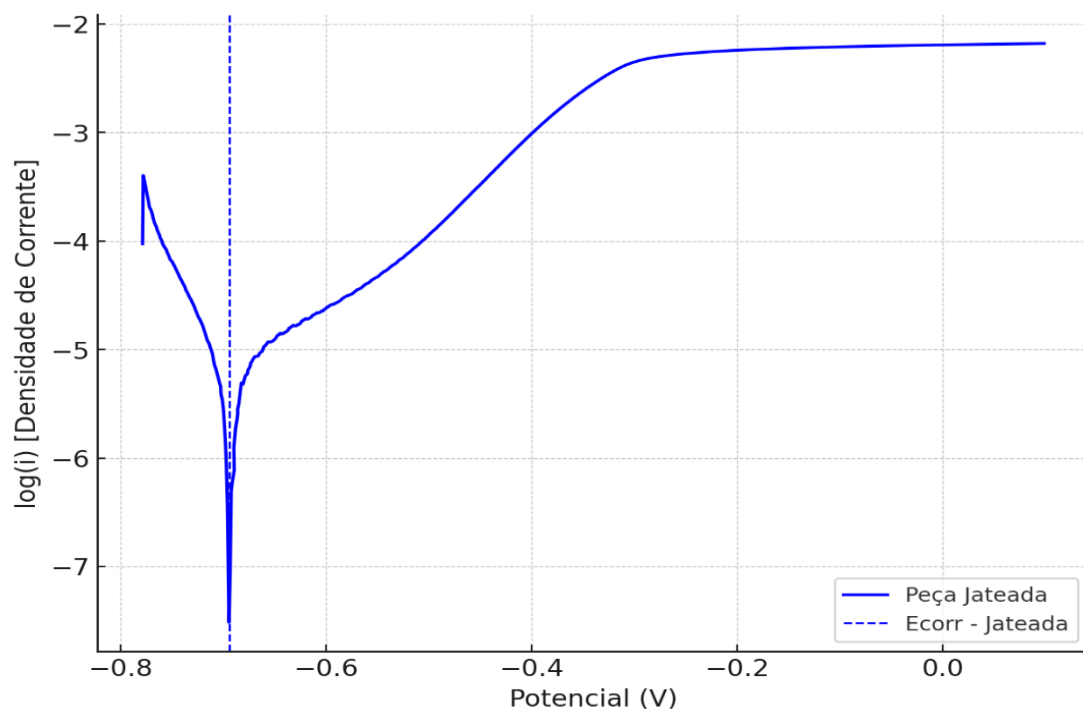
-0,6956 V e -0,5916V . Este potencial é considerado como sendo o potencial de corrosão, mas ele não apresenta o mesmo valor potencial de corrosão medido com circuito aberto (Figura 19). Essa defasagem de potencial é atribuída à diferença entre a corrente de Faraday e a corrente externa (registada pelo equipamento).

### 6.1.1 Comparação Quantitativa entre Peça Jateada e Peça com Carepa

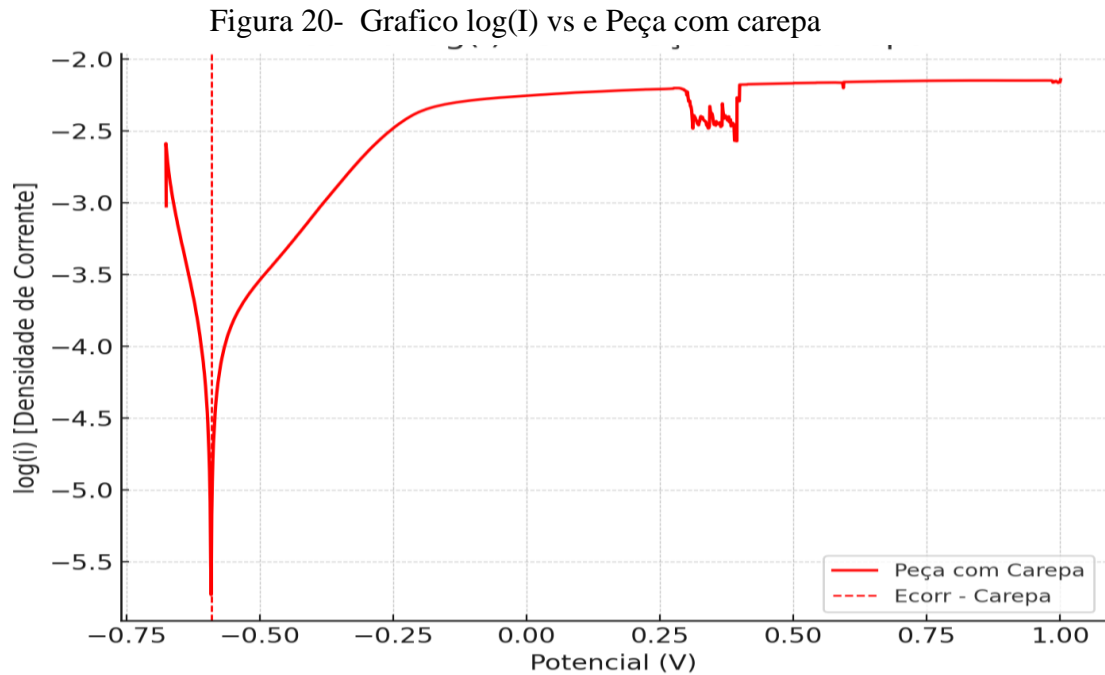
Com os dados e as curvas de polarização obtidas por meio do programa Nova 2.0, foi possível determinar os potenciais de corrosão ( $E_{corr}$ ), que correspondem ao ponto onde a corrente se aproxima de zero, indicando a tendência de corrosão espontânea do material. A Figura 19 e 20 apresentam os gráficos do ensaio de polarização da peça jateada e da peça com carepa, gerado a partir dos dados extraídos do ensaio, no qual é possível identificar o  $E_{corr}$ . Na região onde os potenciais são superiores a  $E_{corr}$  (lado positivo da curva), tem-se a região anódica, enquanto na região onde os potenciais são inferiores (lado negativo da curva) está a região catódica.

Cada região possui um potencial de corrosão característico chamados de potencial anódico e potencial catódico que são o maior valor de potencial na região anódica e o menor valor de potencial na região catódica.

Figura 19- Gráfico  $\log(I)$  vs e Peça jateada



Fonte: Autor



Como evidenciado nos gráficos, a reta paralela à menor corrente identificada permite a determinação do potencial de corrosão ( $E_{corr}$ ) das peças. Para a peça jateada, o  $E_{corr}$  foi de  $-0,6956$  V, enquanto para a peça com carepa foi de  $-0,5916$  V. O valor menos negativo do  $E_{corr}$  da peça com carepa indica que ela é menos ativa, sofrendo corrosão em um potencial mais elevado, o que sugere uma maior proteção passiva devido à carepa.

Em relação à densidade de corrente de corrosão ( $I_{corr}$ ), os valores se invertem: a peça jateada apresenta uma densidade de  $3,05 \times 10^{-8}$  A/cm<sup>2</sup>, enquanto a peça com carepa tem um valor de  $1,85 \times 10^{-6}$  A/cm<sup>2</sup>. Ou seja, a peça com carepa possui uma  $I_{corr}$  aproximadamente 60 vezes maior, o que indica uma taxa de corrosão substancialmente mais elevada em comparação com a peça jateada.

A taxa de corrosão de uma peça em um ensaio de polarização refere-se à velocidade com que o material da peça se deteriora devido a reações químicas com o ambiente, essa taxa pode ser calculada por meio do princípio de Faraday utilizando a equação de taxa de corrosão (**CR**) com base na corrente de corrosão obtida a partir da curva de polarização:

$$R_{corr} = \frac{I_{corr} \times M}{n \times F \times A}$$

- $I_{corr}$  = Densidade da corrente obtida da análise de dados de polarização
- $M$  = massa molar do material
- $n$  = número de elétrons envolvidos, que para o ferro é **2**,
- $F$  = constante de Faraday, que é 96485 C/mol

- A = área do eletrodo **1 cm<sup>2</sup>**.

Para determinar a massa molar do aço ASTM 36, é necessário considerar a média ponderada das massas molares dos elementos presentes na liga. As massas molares dos principais elementos que compõem o aço carbono ASTM A36 são:

- Ferro (Fe): 55,845 g/mol;
- Carbono (C): 12,011 g/mol;
- Manganês (Mn): 54,938 g/mol

Considerando a proporção de cada elemento (com base nos percentuais apresentados na Tabela 1, a massa molar do aço carbono A36 pode ser calculada como uma média ponderada, levando em conta os percentuais de cada elemento na liga. Dessa forma, a massa molar do aço carbono ASTM A36 pode ser estimada em torno de 55 g/mol, com o ferro sendo o elemento predominante.

A análise da taxa de corrosão foi realizada para duas amostras, uma com carepa e outra jateada. Para a amostra com carepa, a taxa de corrosão foi calculada em  $1.72 \times 10^{-6}$  mm/ano, o que indica a quantidade de material perdido devido à corrosão ao longo de um ano. Já para a amostra jateada, a taxa de corrosão foi significativamente menor, com valor de  $2.94 \times 10^{-8}$  mm/ano.

Tabela 3 - Paramento comparativo entre as amostras estudadas

<b>Parâmetro</b>	<b>Peça Jateada</b>	<b>Peça com Carepa</b>
<b>Potencial de Corrosão (E<sub>corr</sub>)</b>	-0.6947 V	-0.5916 V
<b>Densidade de Corrente de Corrosão (I<sub>corr</sub>)</b>	$3.05 \times 10^{-8}$ A/cm <sup>2</sup>	$1.85 \times 10^{-6}$ A/cm <sup>2</sup>
<b>Corrente Média (A)</b>	$3.06 \times 10^{-3}$ A	$4.66 \times 10^{-3}$ A
<b>Desvio Padrão da Corrente (A)</b>	$2.82 \times 10^{-3}$ A	$2.56 \times 10^{-3}$ A
<b>Potencial Anódico (E<sub>anódico</sub>)</b>	0.0983 V	1.0007 V
<b>Potencial Catódico (E<sub>catódico</sub>)</b>	-0.7788 V	-0.6765 V
<b>Taxa de corrosão</b>	$2.94 \times 10^{-8}$	$1.72 \times 10^{-6}$

Fonte: Autor

### 6.1.2 Análise da Média e Desvio Padrão da Corrente

A corrente elétrica registrada nos ensaios pode apresentar variações ao longo do tempo devido à dinâmica das reações eletroquímicas. A análise da média e do desvio padrão da corrente permite avaliar a estabilidade da corrosão nas amostras. Conforme mostrado na tabela

2, a peça com carepa apresentou uma corrente média maior, indicando que há mais atividade eletroquímica ocorrendo, o que está alinhado com sua maior taxa de corrosão. A peça jateada tem um desvio padrão um pouco maior, o que pode indicar uma variação maior nas flutuações de corrente ao longo do tempo.

## 6.2 Ensaio de rugosidade

Os resultados do ensaio de rugosidade, apresentados na Tabela x, referem-se a amostras antes da aplicação de pintura. As amostras analisadas incluem aquelas sem jateamento (sem jat.) e aquelas que passaram pelo processo de jateamento com grau SA3.

Tabela 4 - Ensaio de rugosidade

Pontos de medição	Sem jateamento	jateamento com grau SA3
Ponto 1(Centro)	11,73	40,33
Ponto 2 (Borda)	12.07	41.78
Ponto 3 (Intermediário)	11.95	40.97

Fonte: Autores

Ao comparar as amostras tratadas com jateamento com aquelas não submetidas ao processo, é possível observar uma diferença notável na textura da superfície. As peças que passaram pelo jateamento apresentaram um aumento significativo na rugosidade, evidenciando o impacto desse tratamento na modificação da topografia superficial. Esse aumento na rugosidade ocorre devido ao efeito abrasivo do jateamento, que resulta em uma superfície mais áspera e com irregularidades maiores em relação às amostras sem tratamento.

## 7 CONCLUSÃO

Este estudo conclui que o jateamento abrasivo é eficaz como pré-tratamento no combate à corrosão. As peças com carepa apresentaram um potencial de corrosão ( $E_{corr}$ ) menos negativo, sugerindo uma proteção passiva inicial, mas sua densidade de corrente de corrosão ( $I_{corr}$ ) foi significativamente maior, indicando que a carepa não atua como barreira eficiente, resultando em uma taxa de corrosão mais alta.

O jateamento, ao remover a camada de óxido, expõe o metal puro, permitindo a formação de uma camada passiva mais uniforme e aumentando a resistência à corrosão. A taxa de corrosão da peça jateada foi 60 vezes menor, evidenciando maior durabilidade. Portanto, a presença de carepa é prejudicial, pois eleva consideravelmente a taxa de corrosão. Isso reforça a necessidade de sua remoção em projetos que exigem alta durabilidade.

Embora a peça jateada mostre flutuações maiores na resposta eletroquímica, com um desvio padrão mais alto, ela apresenta uma corrente média menor, indicando menor atividade corrosiva em comparação com a peça com carepa. Esses resultados destacam a importância do jateamento para melhorar a resistência à corrosão.

Ao comparar as amostras tratadas com jateamento com as não tratadas, ficou evidente que o efeito abrasivo gera uma superfície mais áspera e com maior irregularidade, sendo crucial para a melhoria da aderência de revestimentos protetivos. Assim, o jateamento se revela um passo importante no tratamento de superfícies, especialmente em aplicações que exigem alta performance e proteção contra desgaste e corrosão.

## REFERÊNCIAS

ARANTES, L. S. F. **Construção de Edifícios de Aço**. São Paulo: Editora X, 2014.

ASTM. "ASTM A36 / A36M-14." **Standard Specification for Carbon Structural Steel**. **ASTM International**, 2014.

BARD, A. J., & FAULKNER, L. R. **Electrochemical Methods: fundamentals and applications** 2nd ed. John Wiley & Sons, 2001.

CALLISTER, WILLIAM D., and DAVID G. RETHWISCH. **Materials Science and Engineering: an introduction**. 10th ed., Wiley, 2018.

F. L. FRAGATA, M. J. SAAD, C. C. A. **Desempenho de esquemas de pintura aplicados em superfícies ferrosas com mesmo grau de limpeza visual, porém com diferentes concentrações de contaminantes salinos**, 2006.

FAZENDA, J.M.R. **Tinta. Ciência e Tecnologia**. 4.ed.São Paulo: Editora Blucher, 2009.

FONTANA, M. G. **Corrosion Engineering**. 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 2007.

GEMELLI, E. **Corrosão: introdução e avaliação**. Joinville–SC (Brasil), 2024. Disponível em: <https://livro-corrosao.vercel.app/>. Acesso em: 21 out. 2024

GENTIL, V. **Corrosão**. 5. ed. [s.l.]: LTC, 2011.

GNECCO, C.: **Tratamento de superfície e pintura**. Publicação IBS/CBCA.

ABRACO, Associação Brasileira de Corrosão. **Qualificação para inspetor de pintura industrial: a pintura como técnica de proteção anticorrosiva (módulo 1)**. 2020. Disponível em: [https://abraco.org.br/src/uploads/2020/07/Mod1\\_-Tintas.pdf](https://abraco.org.br/src/uploads/2020/07/Mod1_-Tintas.pdf). Acessado em: 21 out. 2024.

ASTM G5: **Potentiodynamic Anodic Polarization Measurements**. 2019. Disponível em: [https://www.metrohm.com/pt\\_br/applications/application-notes/autolab-applikationen-anautolab/an-cor-012.html](https://www.metrohm.com/pt_br/applications/application-notes/autolab-applikationen-anautolab/an-cor-012.html). Acessado em: 21 out. 2024.

RODRIGUES, Amanda. **Corrosão**. 2019. Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/146723564/corrosao-em-materiais-metalicos>. Acessado em: 21 out. 2024.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Paints and varnishes - terms and definitions**. ISO 4618:2006. 2006.

INTERNATIONAL STANDARD. **Paints and varnishes - Terms and definitions**.

Disponível em:

<https://cdn.standards.iteh.ai/samples/56502/db502595efb7420cb83213b8157f7ff6/ISO-4618-2014.pdf>. Acessado em: 12 jan. 2025.

J. C. SCULLY. **The fundamentals of corrosion**. 3rd ed. Oxford: Butterworth-Heinemann,1990.

LITTLE, E. E. Microbiologically Influenced Corrosion (MIC) in Aquatic Systems. **Journal of Environmental Engineering**, 2012.

KONDLATSCH, Luiz Henrique, S. d. S. a. C. W. T. L. **Treinamento Pintura Industrial com Tintas Líquidas**. 2022.

[https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h7c/h96/Apostila-DT-12-Tinta-l-quida\\_2018.pdf](https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h7c/h96/Apostila-DT-12-Tinta-l-quida_2018.pdf). Acessado em: 10 nov.2023.

FONTANA, M. G. Corrosion Engineering. 1987.

MOSER, L. F.; GORMAN, R. Corrosion of Steel in Marine Environments. **Journal of Materials Science**. 2014.

NUNES, L. P.; LOBO, A. C. O. **Pintura Industrial na Proteção Anticorrosiva**. 2 ed. São Paulo: Ed. Interciência.1998.

P. PEDEFERRI, "Cathodic Protection and Cathodic Prevention," **Construction and Building Materials**. v. 10, n. 5, jul.,1996.

PADRÃO, J. **Técnicas de inspeção e diagnóstico em estruturas**. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2004.

PORTINARI. **A pintura como proteção anticorrosiva**, 2017. Disponível em: <https://portinaripinturas.com.br/a-pintura-como-protecao-anticorrosiva.php>. Acessado em 10 nov.2023.

R. B. Craig, "**Building with Steel**",1988.

R. W. Revie. **Corrosion and Corrosion Control: An Introduction to Corrosion Science and Engineering**. 2019.

SHREIR, L. L. **Corrosion**. 2nd ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2010.