

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA NAVAL

PEDRO AURÉLIO KRÜGER

ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DO PLASMA TÉRMICO COMO SUBSTITUTO
AO JATEAMENTO ABRASIVO EM AÇO NAVAL

Joinville

2023

PEDRO AURÉLIO KRÜGER

ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DO PLASMA TÉRMICO COMO SUBSTITUTO
AO JATEAMENTO ABRASIVO EM AÇO NAVAL

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Naval do Centro Tecnológico de Joinville da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel.

Orientadora: Dra. Viviane Lilian Soethe Parucker

Joinville

2023

PEDRO AURÉLIO KRÜGER

ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DO PLASMA TÉRMICO COMO SUBSTITUTO
AO JATEAMENTO ABRASIVO EM AÇO NAVAL

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de bacharel em Engenharia Naval de Infraestrutura, na Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

Joinville (SC), 30 de junho de
2023.

Banca Examinadora:

Dra. Viviane Lilian Soethe Parucker
Orientadora/Presidente

Dr. Moisés Luiz Parucker
Membro
Universidade do Estado de Santa Catarina

Dr. Antônio de Assis Brito Neto
Membro
Universidade Federal de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

Esse trabalho só foi possível tal como a minha formação, graças às mulheres. Seja a minha incansável orientadora, minhas insuperáveis melhores amigas e é claro, as mulheres da minha família que tanto se dedicaram para que tudo desse certo.

É claro, eu preciso agradecer também as empresas que me permitiram utilizar os seus espaços e ferramentais em prol dos meus experimentos que serão vistos na sequência.

Porém, eu quero que esse espaço aqui tenha um único nome escrito por extenso. Afinal de contas o proprietário desse nome mesmo que hoje em dia ausente fisicamente, foi e continuará sendo meu maior apoiador, torcedor, provedor e amigo. Sim, o meu pai Marcos Aurélio Krüger morto em uma pandemia causada por um vírus mortal e agravada por uma política que desprezou a academia, os professores e a ciência tão fundamentais a toda e qualquer era.

Quero deixar muito claro que o meu pai era um professor formado na rede pública e que acreditou e defendeu com unhas e dentes a educação como um todo. Logo, o presente estudo é uma consequência lógica e de certa forma uma extensão, daquilo que ele tanto lutou e defendeu enquanto possível. É para você, meu amado pai.

Porque se chamavam homens, também se chamavam sonhos e sonhos não envelhecem.

(Milton Nascimento).

RESUMO

Com a indústria naval caminhando em direção à sustentabilidade e ao bem estar dos envolvidos no processo produtivo, surge a necessidade de que tais tópicos abranjam todas os segmentos envolvidos no processo da construção naval incluindo os processos de pintura.

Neste sentido, podemos discutir a respeito do processo de pintura em relação ao aspecto da preparação da superfície comumente realizada pela técnica de jateamento abrasivo que envolve em sua maioria, reagentes que podem ser agressivos a saúde do operador, como a sílica presente na areia.

No presente trabalho buscou-se estudar e avaliar a eficiência do processo de jateamento por plasma, como alternativa aos processos de jateamento por areia comumente utilizados nos processos de pintura no setor naval. A utilização de tal técnica é bastante difundida em outras indústrias de maior investimento e complexidade, como em processos de corte e soldagem a plasma. Neste sentido, uma empresa que já possui este tipo de equipamento para atividades de corte e solda, poderia empregar, ajustando os parâmetros de processo, tal equipamento, para auxiliar os processos de pintura naval, dispensando outras técnicas. Para a viabilização do estudo e também para validar a tecnologia de plasma como uma alternativa viável ao preparo da superfície para pintura no setor naval, foram utilizadas amostras de aço naval A36, avaliadas quanto à sua composição química, rugosidade pós tratamento, adesão a tinta e oxidação em ambiente alcalino.

As análises de composição química do aço permitem inferir que o mesmo atende aos requisitos esperados pela construção naval e que o jateamento convencional possui vantagens sobre o tratamento de superfície com plasma no aspecto da rugosidade inserida na superfície e também para com a adesão a tinta. Por outro lado, o estudo demonstrou que, no que tange a resistência a oxidação, a utilização do processo de jateamento por plasma promove melhorias na superfície do material.

Palavras-chave: Aço naval A36. Indústria naval. Jateamento. Tratamento de superfície. Plasma térmico. Tocha de plasma.

ABSTRACT

With the naval industry moving towards sustainability and the well-being of those involved in the production process, there is a need for such topics to cover all segments involved in the shipbuilding process, including the painting processes.

In this sense, we can discuss the painting process in relation to the aspect of surface preparation commonly performed by the abrasive blasting technique, which mostly involves reagents that can be aggressive to the health of the operator, such as the silica present in sand.

In the present work, we sought to study and evaluate the efficiency of the plasma blasting process, as an alternative to the sandblasting processes commonly used in painting processes in the naval sector. The use of this technique is widespread in other industries with greater investment and complexity, such as plasma cutting and welding processes. In this sense, a company that already owns this type of equipment for cutting and welding activities could use, by adjusting the process parameters, such equipment to help the naval painting processes, dispensing with other techniques. To make the study viable and also to validate plasma technology as a viable alternative to surface preparation for painting in the naval sector, samples of A36 naval steel were used, evaluated for their chemical composition, post-treatment roughness, adhesion to paint and oxidation in an alkaline environment.

The analyzes of the chemical composition of the steel allow inferring that it meets the requirements expected by shipbuilding and that conventional blasting has advantages over the surface treatment with plasma in terms of the roughness inserted in the surface and also for the adhesion to the paint. On the other hand, the study demonstrated that, regarding oxidation resistance, the use of the plasma blasting process promotes improvements in the surface of the material.

Keywords: Naval steel A36. Naval industry. Sandblasting. Surface treatment. Thermal plasma. Plasma torch.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Diferentes padrões de rugosidade de superfície | 14 |
| Figura 2 – Limpeza de casco do navio | 15 |
| Figura 3 – Imagem ilustrativa da ordem de colocação das camadas de tinta | 17 |
| Figura 4 – Ilustração de um navio em dique seco | 18 |
| Figura 5 – Estados da matéria e suas temperaturas características | 19 |
| Figura 6 – Reator de plasma do Laboratório de Tratamento de Superfícies (LaTS) da UFSC | 19 |
| Figura 7 – Representação esquemática de um sistema plasma de baixa pressão...21 | |
| Figura 8 – Ilustração do funcionamento de uma tocha de plasma | 23 |
| Figura 9 – Fluxograma esquemático da metodologia empregada no estudo | 25 |
| Figura 10 – Chapas de aço A36 utilizadas para retirada das amostras em estudo...26 | |
| Figura 11 – Imagem do processo de corte das amostras | 27 |
| Figura 12 – Amostras cortadas e lixadas | 27 |
| Figura 13 – Amostra de aço A36 embutida após preparação metalográfica | 29 |
| Figura 14 – Imagem ilustrativa do Espectrômetro Shimadzu OES-5500 II | 30 |
| Figura 15 – Imagem ilustrativa da fonte de plasma utilizada no tratamento das amostras.....31 | |
| Figura 16 – Imagem do processo de aplicação do plasma sobre a superfície das amostras.....32 | |
| Figura 17 – Primer utilizado para pintura das amostras após o processo de jateamento | 33 |
| Figura 18 – Imagem do perfilômetro Bruker utilizado para medidas de rugosidade..34 | |
| Figura 19 – Imagem ilustrativa do parâmetro Ra de rugosidade obtido nas amostras após o tratamento | 35 |
| Figura 20 – Amostras sendo colocadas na câmara de névoa salina | 37 |
| Figura 21 – Amostras posicionadas na câmara de névoa salina | 38 |
| Figura 22 – Micrografia do aço utilizado como substrato dos estudos | 40 |
| Figura 23 – Imagem da superfície das amostras após o tratamento de jateamento por tocha de plasma | 43 |
| Figura 24 – Imagem da superfície da 3ª amostra após tratamento com jato de plasma | 44 |
| Figura 25 – A área afetada pelo calor e a zona de transição do corte da amostra ...44 | |

| | |
|---|----|
| Figura 26 – Amostra de aço A36 jateada por plasma e revestida com tinta | 45 |
| Figura 27 – Microscopia das amostras após processo de jateamento e pintura..... | 46 |
| Figura 28 – Resultados gráficos de rugosidade das amostras em função dos parâmetros de tratamento | 47 |
| Figura 29 – Análise visual das amostras antes e após a imersão em névoa salina por 48 horas | 52 |
| Figura 30 – Microscopia das amostras após processo de jateamento, pintura e névoa salina | 54 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Composição química e propriedades de alguns aços utilizados na indústria naval..... | 12 |
| Tabela 2 – Parâmetros utilizados para o processo de jateamento por plasma nas amostras de aço A36 | 32 |
| Tabela 3 – Referência para testes comparativos de riscadura em filmes finos..... | 36 |
| Tabela 4 – Requisitos para aço estrutural de casco de resistência normal..... | 41 |
| Tabela 5 – Composição química (porcentagem em peso) da amostra | 42 |
| Tabela 6 – Valores dos parâmetros de rugosidade para as superfícies testadas | 48 |
| Tabela 7 – Resultado do teste de adesão e comparação com a Norma NBR 11003:2009 | 49 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍLABAS

A - Ampère

CTJ – Centro Tecnológico de Joinville

IMO - Organização Marítima Internacional

SOLAS - Convenção Internacional para a Salvaguarda da Vida Humana no Mar

LaTS – Laboratório de Tratamentos de Superfície

LMU - Laboratório de Manufatura da UFSC-JTJ

UDESC – Universidade Estadual de Santa Catarina

LISTA DE SÍMBOLOS

μm - Micrômetro

$^{\circ}\text{C}$ - Celsius

$^{\circ}$ - Graus

cm - Centímetros

cm^2 - Centímetros quadrados

Fu - Resistência à tração do aço

Fy - Limite de escoamento do aço

mbar - Milibar

mm - Milímetro

RA - Rugosidade média

SUMÁRIO

| | | |
|-----------|--------------------------------------|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 9 |
| 1.2 | OBJETIVOS | 11 |
| 1.2.1 | Objetivo Geral | 11 |
| 1.1.1 | Objetivo Específico..... | 11 |
| 2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 12 |
| 2.1 | O aço na construção naval..... | 12 |
| 2.2 | Pintura na construção naval | 13 |
| 2.2.1 | Composição das tintas | 13 |
| 2.2.1.1 | <i>Veículo</i> | 13 |
| 2.2.1.2 | <i>Pigmento</i> | 13 |
| 2.2.1.3 | <i>Aditivos</i> | 14 |
| 2.2.2 | Preparação da superfície do aço..... | 14 |
| 2.2.2.1 | <i>Jateamento abrasivo</i> | 14 |
| 2.2.3 | Etapas da pintura | 16 |
| 2.2.4 | Docagem | 17 |
| 2.3 | Tecnologia plasma | 18 |
| 2.3.1 | Tipos de Plasma..... | 20 |
| 2.3.1.1 | <i>Plasmas Frios</i> | 20 |
| 2.3.1.1.1 | Plasmas de Baixa Pressão..... | 20 |
| 2.3.1.1.2 | Plasmas Atmosféricos | 21 |
| 2.3.1.2 | <i>Plasmas Térmicos</i> | 22 |
| 2.3.2 | Plasma na Indústria Naval..... | 23 |
| 3 | METODOLOGIA | 25 |
| 3.1 | Caracterização do material..... | 28 |
| 3.1.1 | Metalografia..... | 28 |
| 3.1.2 | Espectrometria | 29 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 3.2 | Tocha de plasma | 30 |
| 3.2.1 | Equipamento | 30 |
| 3.2.2 | Realização do tratamento..... | 31 |
| 3.3 | Pintura | 32 |
| 3.4 | Perfilometria | 33 |
| 3.5 | Teste de adesão..... | 35 |
| 3.6 | Ensaio de névoa salina | 37 |
| 3.7 | Microscopia óptica..... | 38 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 40 |
| 4.1 | Análise metalográfica do aço | 40 |
| 4.2 | Espectrometria de emissão óptica..... | 42 |
| 4.3 | Tratamento dos aços com Tocha de plasma..... | 42 |
| 4.4 | Pintura | 44 |
| 4.5 | Perfilometria | 46 |
| 4.6 | Teste de adesão..... | 48 |
| 4.7 | Ensaio de névoa salina | 50 |
| 5 | CONCLUSÃO | 55 |
| 6 | TRABALHOS FUTUROS..... | 57 |
| | REFERÊNCIAS..... | 58 |

1 INTRODUÇÃO

Uma das maiores ameaças para a integridade estrutural de um navio é a corrosão, que pode causar rachaduras ou desgaste em partes vitais do mesmo. Essa corrosão pode ocorrer por diversas razões, mas no caso da indústria naval se deve à exposição do aço à atmosfera marinha ou contato direto com a água (SILVA, 2011).

Por ser fortemente alcalino, ou seja, proporcionar forte troca de elétrons nos substratos mais expostos, essa atmosfera, aliada a fatores como a deposição de espécies químicas, pode causar corrosão eletroquímica consumindo cerca de 0,1mm de espessura do material ao ano (SILVA, 2011).

Portanto, é necessária uma pintura adequada que não dependa apenas do substrato, ou seja a tinta, mas também do preparo da superfície que no caso da indústria naval, é bastante crítico uma vez que o modo de preparação é feito majoritariamente pela técnica de jateamento abrasivo (SILVA, 2011).

A areia seca tem sido o abrasivo mais comumente usados para jateamento de grandes áreas porque é um material barato, prontamente disponível e razoavelmente abrasivo. Portanto, a palavra "jateamento de areia" se tornou bastante popular (SARAMAGO, 2005).

Com a proibição do jateamento abrasivo com areia seca no Estado do Rio de Janeiro, através da Lei nº. 1.979, de 23 de março de 1992, em função dos riscos oferecidos à saúde e ao meio ambiente, foi criada uma Comissão de Trabalho composta de representantes da PETROBRAS - REDUC, do SINAVAL, da FEEMA e do Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro, com o objetivo de serem estudados abrasivos alternativos que substituíssem a areia seca, atendendo aos requisitos de Produtividade, Higiene Industrial, Saúde Ocupacional e Proteção ao Meio Ambiente (SARAMAGO, 2005, p. 6).

Logo, a areia seca passou a ser proibida uma vez que a mesma apresenta danos para a saúde já que é composta por sílica (SiO_2). Uma vez inaladas, as partículas de sílica são depositadas principalmente nos bronquíolos respiratórios e alvéolos o que se desencadeia em um processo inflamatório que inicialmente se manifesta como uma alveolite seca e pode progredir para um estágio fibrótico (TERRA FILHO *et al.*, 2006).

Além dos problemas associados a saúde do operador da areia, a extração da areia gera diversos problemas ambientais uma vez que a mineração se constitui na busca por matérias-primas com baixa relação preço/volume, cujo principal fator limitante é a distância dos mercados consumidores. Dessa forma, as mineradoras buscam áreas o mais próximo possível dos centros de consumo, principalmente os centros urbanos, o que agrava o conflito entre mineração e uso do espaço urbano (LELLO *et al.*, 2005).

Entretanto, a economia é o principal fator que motiva a utilização da areia nestes tipos de processo no setor naval, bem como sua eficiência na modificação superficial do material tratado, sendo este o principal motivo de ser facilmente encontrado na construção naval informal. Uma solução eficaz para redução dos danos provocados pelo jateamento com areia seca é a adição da água no processo de jateamento (SILVA, 2011).

O presente estudo, no entanto, apresenta uma solução mais elaborada e moderna envolvendo a tecnologia de tratamento de superfície por plasma térmico sendo essa técnica já amplamente utilizada na indústria aeroespacial, automotiva, siderúrgica, biomédica e para tratamento de resíduos tóxicos (MELLO, 2007).

As vantagens dessa técnica para o tratamento de superfícies são: (i) o aparato tecnológico necessário é enxuto; (ii) reduzida geração de poluentes e resíduos tóxicos e (iii) baixo consumo de energia associado à produção, principalmente quando comparado a outros processos que envolvem tratamentos térmicos ou químicos (MELLO, 2007).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a eficiência do processo de jateamento por plasma em superfícies de aço naval para melhoria da adesão de revestimentos poliméricos.

1.1.1 Objetivo Específico

- Realizar um levantamento bibliográfico sobre as propriedades do aço naval e dos processos de pintura realizados.
- Conceituar e propor a tecnologia de plasma junto a indústria naval.
- Caracterizar o aço A36 quanto as suas propriedades químicas comparando as com os parâmetros e especificações do aço naval comumente utilizado na indústria.
- Realizar um processo de jateamento da superfície de um aço naval com plasma térmico com diferentes condições e comparar com uma amostra jateada com técnicas convencionais.
- Verificar a rugosidade da superfície da amostra após o tratamento da superfície por plasma em diferentes condições.
- Avaliar a superfície do aço naval quanto a aderência da tinta em fase micro e macroscópica através de ensaios de adesão e névoa salina.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 O AÇO NA CONSTRUÇÃO NAVAL

O uso do aço na construção naval é superior a 90% do total dos materiais usados em aplicações marítimas dado suas propriedades mecânicas medianas, em termos de tensão de escoamento e ruptura, além de boa tenacidade a fratura, custo compatível e propriedades metalúrgicas que permitem uma boa soldabilidade (USIMINAS, 2023).

O aço utilizado na construção naval é o aço estrutural de maior faixa de espessura produzido pelas siderúrgicas. Esses aços precisam ter boa soldabilidade, boa tenacidade (resistência à fratura), boa ductilidade (inclusive na espessura) e resistência mecânica mínima ainda que os principais requisitos impostos a esses aços estejam relacionados à sua resistência à fratura, principalmente em juntas soldadas (SANTOS, 2011).

Certos tipos de aço são amplamente utilizados na indústria naval, como os listados na Tabela 1, que apresenta as principais propriedades e composição química dos aços navais e a resistência à tração do aço (F_u) e o limite de escoamento do aço (F_y).

Tabela 1 - Composição química e propriedades de alguns aços utilizados na indústria naval

| Aço | Composição Química (Percentuais máximos) | | | | | | | | Propriedades | | |
|----------------|---|--------|--------|-------|-------|--------|------|------|----------------------------|----------------------------|-----------|
| | C | Nb | Mn | P | S | Si | Cr | Cu | F_y N/mm ² | F_u N/mm ² | Descrição |
| AH 32 DH 32 | 0,18 | 0,02 a | 0,90 a | 0,035 | 0,035 | 0,10 a | 0,20 | 0,35 | 315 | 440 | Aço Naval |
| | | 0,05 | 1,60 | | | 0,50 | | | | | |
| AH 36 DH 36 | 0,18 | 0,02 a | 0,90 a | 0,035 | 0,035 | 0,10 a | 0,20 | 0,35 | 355 | 490 | Aço Naval |
| | | 0,05 | 1,60 | | | 0,50 | | | | | |
| AH 40 DH 40 | 0,18 | 0,02 a | 0,90 a | 0,035 | 0,035 | 0,10 a | 0,20 | 0,35 | 390 | 510 | Aço Naval |
| | | 0,05 | 1,60 | | | 0,50 | | | | | |

Fonte: Adaptado de Santos (2011).

Entretanto, a atmosfera marítima é altamente corrosiva, uma vez que a água do mar não é pura e por causa da ação do vento e de outras condições ambientais, as partículas de água do mar se espalham, entrando em contato com objetos metálicos que são corroídos dada a diferença de potencial eletroquímico.

2.2 PINTURA NA CONSTRUÇÃO NAVAL

A pintura é o método mais econômico e apropriado para a proteção contra a corrosão na construção naval. Em condições favoráveis, as pinturas navais podem ter eficiência de até 20 anos. Porém, em condições adversas, como as encontradas na atmosfera marinha, pode haver uma redução de até metade deste tempo na vida útil dos revestimentos poliméricos empregados para proteção contra corrosão em aços navais (SILVA, 2011).

2.2.1 Composição das tintas

Uma tinta é um composto homogêneo formado primordialmente de pequenas partículas sólidas, chamadas de pigmento, dispersas em um meio líquido denominado como veículo além da possível adição de aditivos em menor proporção (SILVA, 2011).

2.2.1.1 Veículo

O veículo é composto basicamente por um solvente que confere o aspecto líquido da tinta com uma determinada viscosidade e por uma resina que deverá ser o ligante ou aglomerante das partículas do pigmento (SILVA, 2011).

2.2.1.2 Pigmento

O pigmento é o componente sólido disperso na resina para conferir cor ou cobertura às tintas. Os pigmentos podem ser classificados em: anticorrosivos e inertes. Os anticorrosivos são capazes de proteger o aço contra a corrosão. Os inertes não possuem cor nem são anticorrosivos, mas são usados para proporcionar propriedades como: resistência à abrasão, lixabilidade, fosqueamento das tintas e etc. (SILVA, 2011).

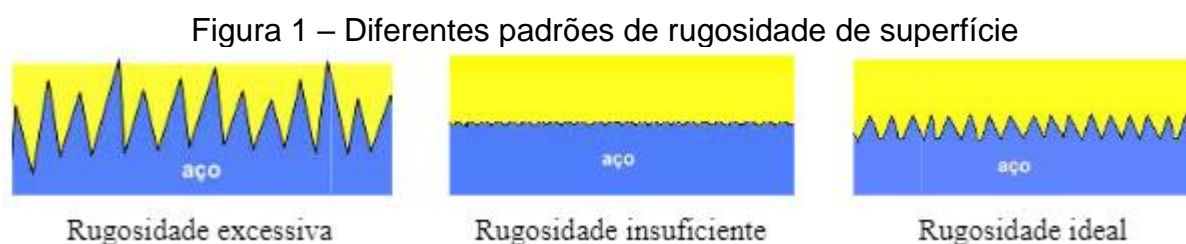
2.2.1.3 Aditivos

Aditivos são constituintes opcionais e podem estar ou não na composição da tinta. Eles podem melhorar certas propriedades das tintas durante a fabricação, estocagem ou aplicação (SILVA, 2011).

2.2.2 Preparação da superfície do aço

Antes de aplicar um revestimento polimérico em uma superfície é necessário que a mesma esteja completamente limpa, isenta de contaminantes, oxidações ou materiais estranhos que possam impedir ou influenciar o comportamento de um sistema de pintura.

Porém, a superfície do aço deve apresentar um determinado grau de rugosidade afim de favorecer a aderência da tinta. A Figura 1 ilustra a rugosidade ideal de uma superfície a ser pintada.



Fonte: Gnecco (2017).

A rugosidade excessiva ou insuficiente não é recomendada uma vez que a excessiva promove distorções na peça a ser tratada, enquanto que a insuficiente faz com que a tinta não tenha aderência adequada com a superfície em questão.

O método mais comum de preparação e limpeza de superfícies a serem pintadas na construção naval é o jateamento abrasivo. Este é o método mais eficaz para remover resíduos de superfície, como escamas e fundições soltas, áreas oxidadas e pintura envelhecida (SILVA, 2011).

2.2.2.1 Jateamento abrasivo

O jateamento é um processo que utiliza o impacto de partículas abrasivas movimentadas em alta velocidade sobre uma superfície, conforme ilustrado pela

Figura 2, objetivando a remoção da pintura, ferrugem, e demais materiais contaminantes, criando um perfil de rugosidade adequado à ancoragem da pintura a ser aplicada após o jateamento (SILVA, 2011).

Figura 2 – Limpeza de casco do navio



Fonte: MHM Limpeza de Tanques (2020).

O jateamento pode ser realizado das seguintes maneiras:

1. Jato de Partículas Abrasivas (Jateamento por Ar Comprimido): Quando se utiliza areia seca, este sistema gera muita poluição. Portanto, recomenda-se o uso de granalha de metal, que reduz o alto percentual de partículas sólidas na suspensão. Com este processo não é possível obter uma rugosidade uniforme na superfície, pois o sopro é feito manualmente (SILVA, 2011).
2. Jato de Areia Úmida (Jateamento por Ar Comprimido com adição de Água): Este sistema mantém as mesmas propriedades do jateamento a seco tradicional, mas tem a vantagem de adicionar água para minimizar a contaminação. No entanto, os substratos de aço macio requerem o uso de inibidores de corrosão ou secagem imediata para evitar a oxidação prematura da superfície. O equipamento utilizado é uma máquina de jateamento portátil (tanque de pressão) na qual o abrasivo é armazenado. As capacidades dos tanques variam entre 90

e 720 litros e as taxas de produção variam entre 5 e 12 metros cúbicos por hora em média, dependendo do tipo de revestimento a ser removido (SILVA, 2011).

3. Jateamento por Turbinas: Os abrasivos são impulsionados através da turbina por forças radiais e tangenciais, coletados por um processo magnético e devolvidos ao sistema. A poeira gerada é coletada por sucção. Este é um processo seguro e não tóxico, portanto não polui o meio ambiente e não oferece riscos à saúde do operador, pois não há partículas sólidas no ar. A grande vantagem é que além de coletar e limpar o abrasivo ao mesmo tempo, esse processo também consegue uma excelente limpeza e uma rugosidade uniforme. O dispositivo portátil é usado em uma instalação fixa e projeta milhares de granalhas de aço lançadas em alta velocidade (SILVA, 2011).

2.2.3 Etapas da pintura

Após a preparação da superfície do aço adota-se a seguinte ordem quanto a colocação das camadas de tinta:

1. Tinta de Fundo ou Primer: Geralmente exerce o mecanismo de proteção catódica, aderência ao substrato e proteção anticorrosiva. As principais características dessa tinta base são a aderência, coesão e inércia (forte resistência a agentes químicos). A aplicação dessa tinta requer bastante atenção para que o sucesso da pintura e o objetivo de proteção sejam alcançados (MIGÚEZ *et al*, 2017).
2. Tinta Intermediária: É a tinta que faz a ligação entre a tinta de fundo e a tinta de acabamento. Possui boa aderência ao primer e serve de base para a tinta de acabamento que será fixada por ela. Esta tinta exerce o mecanismo de proteção por barreira, ou seja, ela serve para aumentar a espessura do revestimento. Essa adição influencia diretamente no aumento da abrasão e a resistência ao impacto (MIGÚEZ *et al*, 2017).
3. Tintas de Acabamento: É a tinta mais externa e que está diretamente em contato com o meio agressivo o que implica na exigência, pelo revestimento, de resistência à adesão. Além disso, esta camada

desempenha uma função estética e de correção da rugosidade estrutural (MIGÚEZ *et al*, 2017).

As tintas descritas acima, quanto a sua ordem de aplicação no processo de pintura, devem ser colocadas na ordem apresentada esquematicamente na Figura 3, dado o nível de agressão química em que um navio é submetido em suas operações marítimas (SILVA, 2011).

Figura 3 – Imagem ilustrativa da ordem de colocação das camadas de tinta



Fonte: WEG Tintas (2018).

2.2.4 Docagem

De acordo com os requisitos da SOLAS (Convenção Internacional para a Salvaguarda da Vida Humana no Mar) todos os navios mercantes devem passar pela docagem, que consiste em um processo de tirar a embarcação de dentro da água e colocá-la em um local seco para realizar serviços de manutenção, limpeza e pintura. A Figura 4 ilustra um processo de docagem de um navio em dique seco.

Figura 4 – Ilustração de um navio em dique seco



Fonte: Ambipar (2021).

A docagem é justificada segundo a SOLAS pela validade das tintas em meio hostil como é o ambiente marítimo. O navio deve ser docado pelo menos duas vezes em um prazo de cinco anos sem nunca exceder o prazo mínimo de três anos.

2.3 TECNOLOGIA PLASMA

O plasma, também chamado de quarto estado da matéria, é gerado por meio da aplicação de uma diferença de potencial em um gás a baixa pressão. Da colisão entre os átomos e as moléculas do gás, são gerados elétrons livres mantidos na camada de valência dos átomos, enquanto que a matéria presente no gás torna-se uma massa disforme com equilíbrio elétrico estável e neutro na relação entre os prótons e nêutrons (CARREIRA, 2015).

Na Figura 5 estão representados os vários estados da matéria em função da temperatura do sistema.

Figura 5 – Estados da matéria e suas temperaturas características



Fonte: Adaptado de Carreira (2015).

Uma característica específica do plasma é a luminescência em cores variadas que dependendo do tipo de gás/partículas excitadas, sendo está uma espécie de identidade do plasma (CARREIRA, 2015). A Figura 6 ilustra a luminescência de um reator de plasma de baixa corrente tendo o gás oxigênio como gás ionizado.

Figura 6 – Reator de plasma do Laboratório de Tratamento de Superfícies (LaTS) da UFSC



Fonte: Autor (2023).

2.3.1 Tipos de Plasma

Os sistemas de plasmas físicos são comumente separados em duas categorias: Plasmas Frios (quando não se estabelece um equilíbrio térmico entre as partículas) e Plasmas Térmicos (quando as partículas estão em equilíbrio térmico (TENDERO et al., 2006)).

2.3.1.1 Plasmas Frios

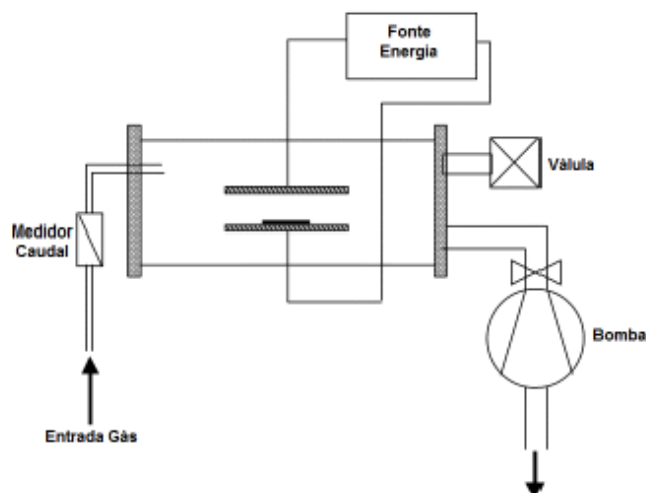
O processamento de materiais mais sensíveis só é possível em temperaturas de plasma consideravelmente mais baixas (aproximadamente < 100 °C). As reações químicas que ocorrem durante a geração de plasma frio aumentam a modificação da superfície de todos os tipos de materiais e provaram ser um processo altamente seletivo e eficiente em termos de energia (CARREIRA, 2015).

Dependendo do tipo de configuração do sistema, os plasmas frios podem operar em baixa pressão ou pressão atmosférica.

2.3.1.1.1 Plasmas de Baixa Pressão

Os sistemas de plasma de baixa pressão permitem a ionização controlada e reproduzível de gases. A Figura 7 mostra a representação de um sistema de plasma a vácuo no qual o cilindro a vácuo é pressurizado a 10^{-2} e 10^{-3} mbar. Um determinado gás é introduzido em um reator quando a pressão desejada é atingida no sistema. Um gerador de alta frequência é usado para gerar a descarga de plasma (CARREIRA, 2015).

Figura 7 – Representação esquemática de um sistema plasma de baixa pressão



Fonte: Carrera (2015).

Uma característica dos plasmas de baixa pressão é que diferentes espécies (íons, elétrons, nêutrons) geradas pelas colisões entre os átomos são combinadas no mesmo sistema em diferentes temperaturas: (i) Os prótons são frios (geralmente um pouco acima da temperatura ambiente) e; (ii) Os elétrons são partículas muito leves e facilmente aceleradas, então ficam muito quentes. Como a temperatura do plasma é determinada pelos prótons, o processo ocorre em um ambiente frio. No entanto, considerando que as colisões inelásticas geram radicais livres e partículas excitadas, a descarga permanece altamente reativa (IONITA et al., 2009)

As principais desvantagens desses sistemas são o alto custo de aquisição de equipamentos, a complexidade de operação do sistema e a dificuldade de integração do sistema à linha de produção (SHENTON; STEVENS, 2001).

2.3.1.1.2 Plasmas Atmosféricos

Com o surgimento de uma fonte de plasma frio em forma de pressão atmosférica, era esperado que ela fosse uma alternativa mais barata e mais fácil de operar do que uma fonte de plasma de vácuo. A partir da década de 90, o plasma frio à pressão atmosférica começou a ser mais amplamente considerado pela comunidade científica, o que levou à criação de diversas fontes com diferentes geometrias e provava não apenas as capacidades do plasma atmosférico, mas também as

vantagens que a tecnologia em questão traria para a indústria (TENDERO et al., 2006).

O plasma atmosférico é atualmente o principal responsável pelo desenvolvimento das aplicações do plasma, sendo usado na medicina, em modificações de superfície e para produção de filmes finos. Além disso, é também uma tecnologia muito interessante para substituir os métodos de baixa pressão para determinadas finalidades, como a esterilização de utensílios cirúrgicos, a higienização, a ativação e a hidrofobização de superfície, a descontaminação de recipientes de alimentos e a colocação de películas finas (CARREIRA, 2015).

2.3.1.2 Plasmas Térmicos

Os plasmas térmicos estão associados à ionização térmica e à liberação de grandes quantidades de calor, com temperaturas que podem chegar a 15.000 °C operadas à pressão atmosférica, sendo a seletividade e a eficiência energética muito reduzidas (A FRIDMAN et al., 2005).

A tecnologia de plasma térmico é um instrumento para a transformação de materiais que tem sido usado por mais de quarenta e cinco anos, desde a criação dos primeiros aquecedores de gás de arco de plasma. Entretanto, os processos de plasma térmico cumprem lentamente o desenvolvimento de aplicações e ainda não atingiram o padrão desejado (SAMAL, 2017).

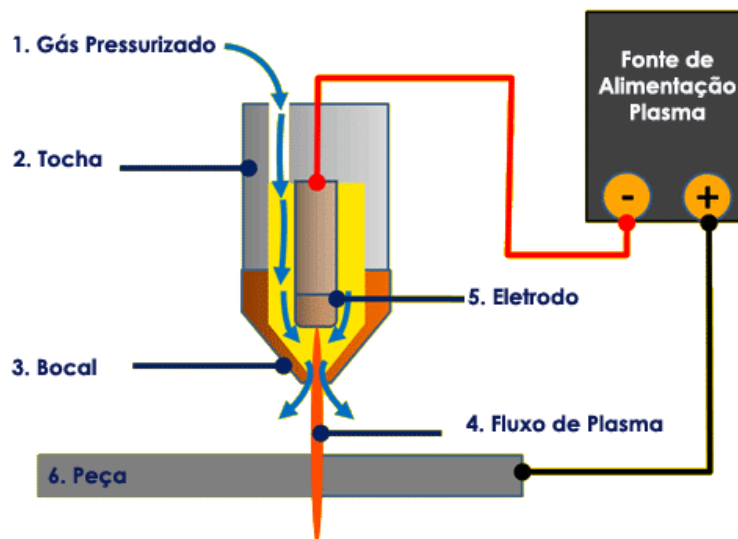
A utilização do plasma térmico na área de corte, soldagem e pulverização já são bastante difundidos. Os dispositivos de geração de plasma térmico são conhecidos como tochas, produzem plasmas com temperaturas muito elevadas e com baixíssima ionização de gás (SAMAL, 2017).

Um feixe de plasma mais comumente conhecido como jato de plasma é produzido a partir de uma tocha de plasma. O jato de plasma produz um arco de plasma em uma ampla faixa de composição e condições operacionais que podem ser facilmente controlados (SAMAL, 2017).

A Figura 8 mostra o funcionamento de uma tocha de plasma que, em seu interior, o gás de trabalho flui ao redor do cátodo e através de um tubo ou bocal constritor. O plasma é geralmente iniciado por um pulso de alta tensão que cria um caminho condutivo para um arco elétrico se formar entre o cátodo e o ânodo (o bocal

da tocha em tochas de arco não transferido ou a peça de trabalho em tochas de arco transferido). O aquecimento elétrico produzido pelo arco faz com que o gás atinja temperaturas muito altas dissociando-se e ionizando-se (IWAO et al., 2006).

Figura 8 – Ilustração do funcionamento de uma tocha de plasma



Fonte: Adaptado de Manáguas (2023).

O potencial da tecnologia de plasma térmico é muito amplo. No entanto, importantes requisitos de pesquisa e desenvolvimento devem ser atendidos antes que essa tecnologia possa ser empregada em diferentes setores. O tratamento térmico por plasma ainda está em fase de pesquisa em laboratório ou planta piloto (SAMAL, 2017).

2.3.2 Plasma na Indústria Naval

A corrosão é uma questão importante para o setor marítimo. Os elementos de proteção mais importantes para o aço naval são os primers e as tintas aplicadas na superfície do aço naval. Novos regulamentos de proteção ambiental da IMO (Organização Marítima Internacional) exigem que novos métodos sejam considerados além das propriedades químicas das tintas (HNATIUC et al., 2016)

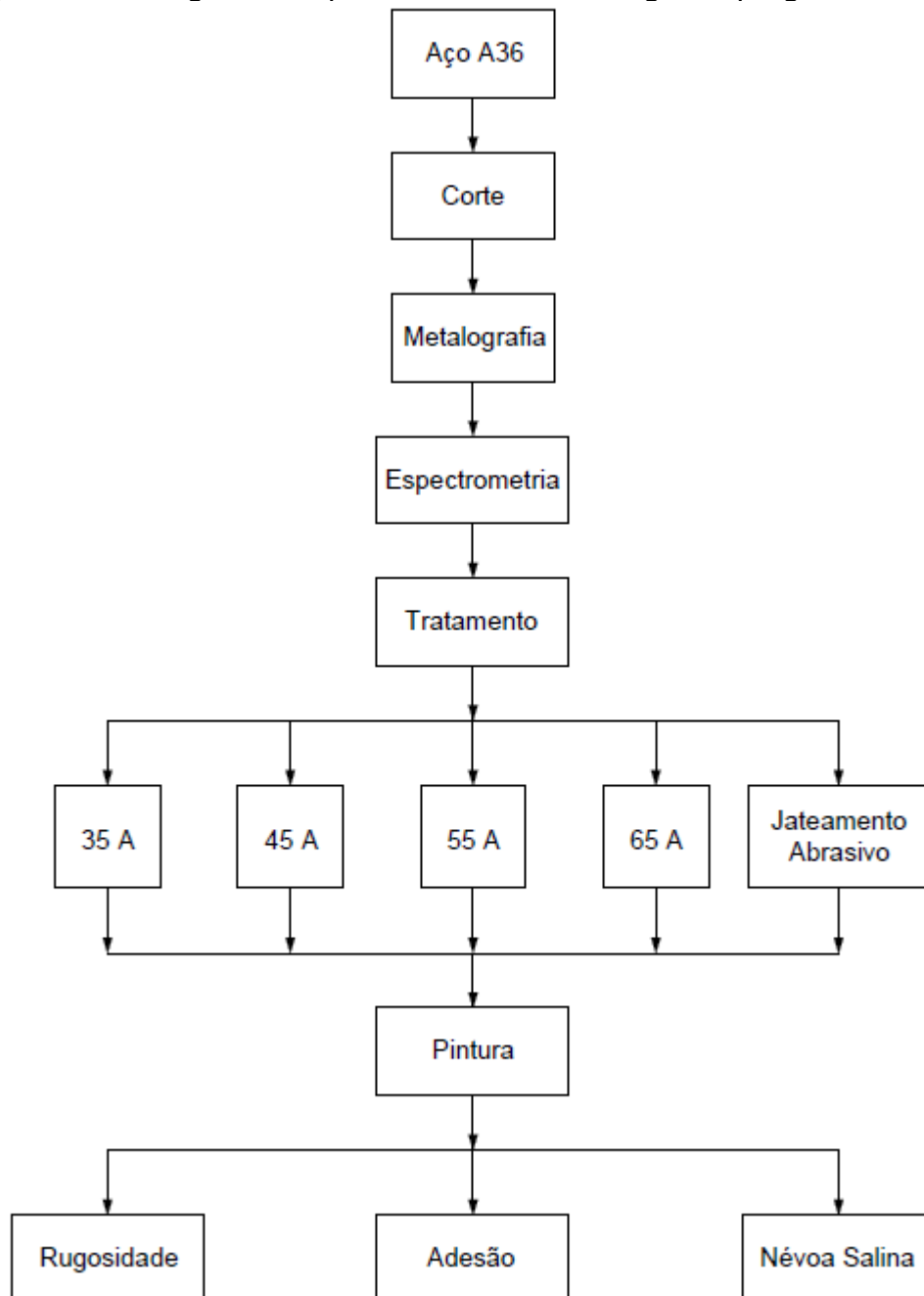
Uma possível solução é o uso de plasmas não térmicos à pressão atmosférica, o que já foi demonstrado em aplicações de descontaminação e para preparar superfícies para processamento posterior. No segundo caso, o tratamento a

plasma do aço do navio antes de outras operações pode resultar em uma distribuição mais uniforme da pintura do navio aplicada posteriormente, ou para aplicação de tintas gerais ou especiais, podendo significar ajuste de superfície (HNATIUC et al., 2016).

3 METODOLOGIA

A metodologia empregada no presente trabalho seguiu a sequência de processos dispostos no fluxograma apresentado na Figura 9.

Figura 9 – Fluxograma esquemático da metodologia empregada no estudo



Fonte: Autor (2023).

Para o presente estudo foram utilizadas amostras de aço naval A36, com espessuras de seis e onze milímetros, cedidas pelo Estaleiro Navship Ltda., localizado na cidade de Navegantes/SC. Uma imagem ilustrativa das chapas das quais foram retiradas as amostras, pode ser observada na Figura 10.

Figura 10 – Chapas de aço A36 utilizadas para retirada das amostras em estudo



Fonte: Autor (2023).

As amostras foram posteriormente cortadas no Laboratório de Manufatura da UFSC-CTJ (LMU) com dimensões padronizadas de 5 cm x 5 cm conforme mostra a Figura 11.

A espessura das amostras não foi padronizada uma vez que no presente estudo buscou-se avaliar os efeitos da superfície e, além disso, como o aço obtido foi fruto de uma doação de rebarbas de chapas de aço comumente utilizadas no estaleiro citado, esta padronização não foi conseguida.

Figura 11 – Imagem do processo de corte das amostras



Fonte: Autor (2023).

Após o corte, as amostras foram lixadas no Laboratório de Materiais da UFSC-CTJ de modo a retirar os possíveis óxidos presentes na superfície. O processo de lixamento foi feito de maneira gradativa, indo da gramatura 80 até 1200. Uma imagem das amostras após o processo de lixamento é apresentada na Figura 12.

Figura 12 – Amostras cortadas e lixadas



Fonte: Autor (2023).

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL

Uma vez que as amostras são fonte de doação sem uma documentação técnica buscou-se caracterizar o aço de modo a garantir que o mesmo atenda as especificações de um aço naval.

3.1.1 Metalografia

A metalografia foi realizada no Laboratório de Materiais da UFSC-CTJ e buscou observar a microestrutura de metais e ligas e, por meio dessa observação, compreender as propriedades macroestruturais de determinados componentes.

As etapas do ensaio metalográfico realizado foram:

1. Seleção da amostra;
2. Seccionamento da amostra: que consiste em recortar um pedaço de tamanho adequado para o embutimento;
3. Embutimento a quente: o corpo de prova foi revestido com resina aquecida a alta temperatura e colocado sob pressão. A resina utilizada no experimento foi o baquelite.
4. Lixamento: Para a obtenção de uma superfície adequada para análise, foi feito o lixamento/desbaste. Foram utilizadas lixas da água de granulometria 80, 120, 320, 600, 1000 e 1200. O procedimento foi iniciado dispendo as lixas em uma lixadeira manual a partir da lixa de maior granulometria (80) até a de menor (1200). Sob um fluxo de água contínuo são realizados movimentos lineares alternados até que a amostra esteja planificada, após, é feita a troca de lixa e o procedimento é repetido, mudando a direção de movimento, que é sempre 90° à direção anterior.
5. Polimento: procedimento de polimento mecânico realizado em uma máquina politriz metalográfica. Com a adição de Óxido de Alumínio (Al₂O₃) em suspensão em água, o processo de polimento teve início. A amostra é girada em sentido contrário ao movimento da máquina para evitar a formação do defeito conhecido como cauda do cometa. Mantém-se esse processo até que uma superfície plana, livre de riscos e com alta refletividade seja obtida.

6. Ataque químico: nesta etapa foi feito o ataque da superfície polida com soluções reativas para que fosse possível identificar os contornos de grão e as diferentes fases na microestrutura. Foi utilizada uma solução de NITAL 2% (Ácido Nítrico + Álcool), durante um tempo de exposição de aproximadamente 5s, sendo na sequência, a amostra lavada com água destilada.
7. Análise em microscópio: após o ataque químico da superfície, faz-se a observação da superfície com a utilização de microscópio óptico em diferentes aumentos. Na Figura 13 é possível observar-se uma das amostras após o processo de preparo metalográfico.

Figura 13 – Amostra de aço A36 embutida após preparação metalográfica



Fonte: Autor (2023).

3.1.2 Espectrometria

Foram realizadas medidas de espectroscopia de emissão óptica, afim de identificar os constituintes presentes no aço em estudo, em um espectrômetro Shimadzu OES-5500 II, mostrado na Figura 14, da Universidade Estadual de Santa Catarina (UDESC), Campus de Joinville. A preparação da peça recebida para este teste consistiu em lixar a mesma em apenas uma de suas superfícies de forma a remover a ferrugem e demais impurezas superficiais.

Figura 14 – Imagem ilustrativa do Espectrômetro Shimadzu OES-5500 II



Fonte: Autor (2023).

3.2 TOCHA DE PLASMA

Após o preparo da superfície, as amostras passaram por um processo semelhante a uma brasagem em uma de suas superfícies fazendo uso de uma tocha de plasma térmico. O processo foi realizado na Metalúrgica Vaspa Ltda. da cidade de Cascavel/PR e na EJP Caldeiraria de Joinville/SC.

3.2.1 Equipamento

Em ambas as empresas foi realizado o tratamento por meio de uma fonte de plasma PowerMax 85 da marca Hypertherm de corrente variável, sendo utilizado ar como o gás ionizado no processo de aplicação. A fonte em questão pode ser observada na Figura 15.

Figura 15 – Imagem ilustrativa da fonte de plasma utilizada no tratamento das amostras



Fonte: Autor (2023).

3.2.2 Realização do tratamento

O tratamento da superfície das amostras por jateamento a plasma foi marcado por uma série de dificuldades, uma vez que o mesmo é realizado de forma manual por um operador e o equipamento em questão tem como finalidade o corte de peças espessas em metais diversos. Além disso, a ocorrência de indesejados arcos fotovoltaicos desfavoreceu o processo, comprometendo a superfície das peças, inviabilizando a continuidade dos estudos com tais amostras.

Durante o processo de jateamento o operador incide a tocha de plasma pela superfície de forma a minimizar os danos às amostras. O processo pode ser conferido na Figura 16. Cada amostra foi submetida a uma corrente diferente mantendo uma distância aproximada de um centímetro. Esta escolha de parâmetros foi empírica, uma vez que trabalhos anteriores utilizando tal técnica, com o objetivo proposto no presente trabalho, não são relatados na literatura. Cabe ressaltar que, ao aproximar a tocha de plasma em distâncias inferiores a 1cm, havia a ocorrência de arcos, enquanto que para distâncias maiores, não se observada efetividade no processo.

Figura 16 – Imagem do processo de aplicação do plasma sobre a superfície das amostras



Fonte: Autor (2023).

Depois do jateamento das amostras com plasma obteve-se quatro amostras tratadas com diferentes energias de acordo com a Tabela 2. Além disso, uma amostra jateada por processo convencional, com areia, que será identificada como “Amostra REV” foi obtida na Metalúrgica Vaspa Ltda., sendo a base para as discussões a respeito das diferenças verificadas entre o processo convencional e o processo por plasma.

Tabela 2 – Parâmetros utilizados para o processo de jateamento por plasma nas amostras de aço A36

| Amostra | Corrente (A) |
|----------------|---------------------|
| 1 ^a | 35 |
| 2 ^a | 45 |
| 3 ^a | 55 |
| 4 ^a | 65 |

Fonte: Autor (2023).

3.3 PINTURA

Após as amostras serem tratadas por plasma realizou-se a pintura das mesmas, utilizando para isso um primer automotivo comercial mostrado na Figura 17. A escolha de tal material deu-se por questões de praticidade e economia, e também

pelo fato de que o presente estudo não se propõe a analisar os aspectos relacionados as tintas utilizadas na indústria naval. Após os processos de pintura as amostras foram analisadas por microscopia óptica, no Laboratório de Materiais da UDESC, Campus Joinville. Tal análise visou investigar a uniformidade da superfície da amostra após a pintura. Para esta análise foram empregados aumentos de 200X.

Figura 17 – Primer utilizado para pintura das amostras após o processo de jateamento



Fonte: Autor (2023).

3.4 PERFILOMETRIA

Uma das formas de investigar a eficiência do tratamento na alteração das propriedades da superfície das amostras é por meio da avaliação da rugosidade. Este ensaio foi realizado nas amostras após o processo de jateamento e pintura, utilizando-se um perfilômetro Bruker (modelo DektakXT) do Laboratório de Filmes Finos da UDESC em Joinville mostrado na Figura 18. O dispositivo funciona escaneando a superfície do filme com uma agulha de diamante. A agulha é ligada mecanicamente a um dispositivo de movimento vertical que controla a força aplicada à amostra e seu posicionamento.

Figura 18 – Imagem do perfilômetro Bruker utilizado para medidas de rugosidade

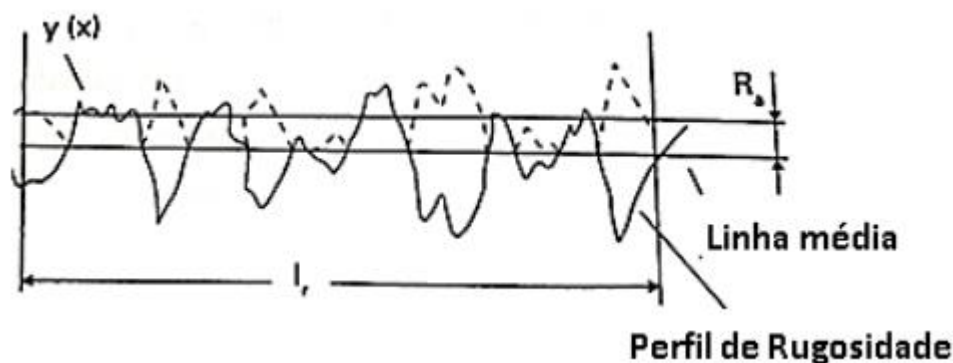


Fonte: Autor (2023).

A ponta escaneia a superfície pintada enquanto o estágio de alta precisão (suporte de amostra) move a amostra. Portanto, uma mudança na espessura do filme faz com que a agulha se mova verticalmente. Esses movimentos verticais da agulha geram sinais elétricos correspondentes que são convertidos em sinais digitais que são lidos por um software no computador. Os sinais digitais das medições coletadas são exibidos em um gráfico a partir do qual a espessura pode ser medida através da graduação entre a superfície da amostra de aço tratado com plasma e o substrato.

O perfil da superfície foi medido bidimensionalmente e o parâmetro Ra (valores absolutos dos desvios da altura do perfil em relação à linha média) foi obtido. O Ra também pode ser representado como a média de um conjunto de medições individuais de picos e vales de uma superfície (BENEA *et al.*, 2018). A Figura 19 ilustra o parâmetro Ra.

Figura 19 – Imagem ilustrativa do parâmetro Ra de rugosidade obtido nas amostras após o tratamento



Fonte: Machado *et al.* (2015).

Foram realizadas três medições em cada uma das amostras visando garantir a homogeneidade em relação a cada peça e favorecer uma média mais assertiva das análises. No total, foram feitas quinze medições.

3.5 TESTE DE ADESÃO

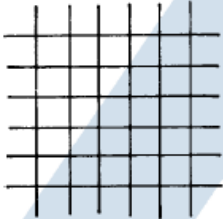
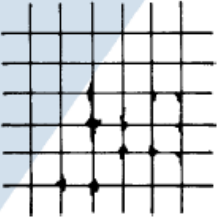
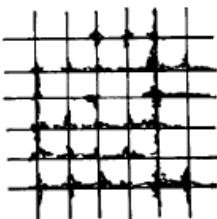

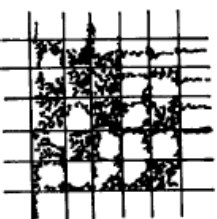
Para o teste de adesão foi utilizada a norma NBR 11003:2009 específica para avaliar a adesão de filmes metálicos ou tintas em diferentes substratos. É frequentemente utilizada na indústria devido à sua facilidade de uso e resposta imediata à qualidade do filme (GOMES, 2016).

O teste é realizado com uma lâmina de aço e uma fita com propriedades específicas. Primeiramente é feito um corte no revestimento e, em seguida a aplicação de uma fita sobre a área cortada. Por fim, faz-se a aplicação de uma força perpendicular à superfície revestida para remover completamente a fita.

A avaliação é feita examinando a superfície revestida e comparando-a com a Tabela 3, que serve de referência para o teste de raspagem e dá uma ideia do percentual de descamação do filme. A norma não sugere porcentagens aceitáveis para aprovação de peças porque o teste de raspagem produz parâmetros qualitativos.

Para o presente teste foi necessário otimizar as amostras dada a quantidade reduzida de peças obtidas por condição de tratamento. Sendo assim, uma parte delimitada e mínima da peça foi riscada, respeitando-se os padrões da NBR em questão. Foi utilizada uma fita modelo Filamentosa Scotch 8809 e um estilete comercial respeitando o quadriculado proposto pela norma.

Tabela 3 – Referência para testes comparativos de riscadura em filmes finos

| Código | Figura |
|--|---|
| Gr_0 Nenhuma área da película destacada. |  |
| Gr_1 Área da película destacada, cerca de 5% da área quadriculada. |  |
| Gr_2 Área da película destacada, cerca de 15% da área quadriculada. |  |
| Gr_3 Área da película destacada, cerca de 35% da área quadriculada. |  |
| Gr_4 Área da película destacada, cerca de 65% da área quadriculada. |  |

Fonte: Fonte: NBR 11003:2009 p.9

3.6 ENSAIO DE NÉVOA SALINA

O ensaio de névoa salina foi realizado no Laboratório Físico Químico da empresa Whirpool na cidade de Joinville. Foi utilizada uma solução de Cloreto de Sódio 5% com o objetivo de introduzir as amostras em um ambiente que representasse, em laboratório, as condições marítimas severas de salinidade. Uma imagem ilustrativa do momento de colocação das amostras no equipamento de análise em névoa salina é apresentada na Figura 20.

Figura 20 – Amostras sendo colocadas na câmara de névoa salina



Fonte: Whirpool (2023).

Após a produção da solução de cloreto posicionou-se as amostras no interior da câmara, conforme mostra a Figura 21. O ensaio de névoa salina seguiu a Norma ABNT NBR 8094 de 1983. Para o ensaio foi utilizado um tempo de exposição 48 horas. Na literatura, o tempo de exposição em câmara de névoa salina varia de 24 a 5000 horas sendo o tempo arbitrado conforme a disponibilidade do laboratório. Além disso,

como apenas um lado da superfície fora devidamente tratado com as técnicas descritas no presente estudo, um número elevado de horas poderia danificar muito as amostras impedindo uma análise clara. Após o ensaio de névoa salina as amostras tiveram sua superfície analisada por microscopia óptica.

Figura 21 – Amostras posicionadas na câmara de névoa salina



Fonte: Autor (2023).

3.7 MICROSCOPIA ÓPTICA

Esta análise visou avaliar a superfície das amostras após o jateamento com plasma. As análises de microscopia óptica foram realizadas no Laboratório de Materiais da UFSC-CTJ com aumento de 400x apenas na 3ª amostra conforme as condições da Tabela 2, uma vez que as outras amostras demonstraram uma rápida oxidação. Além disso, a distância de uma das empresas em relação a Universidade dificultou a logística.

Além disso as peças passaram pelo processo de microscopia óptica no Laboratório de Materiais da UDESC após a pintura e após o teste de névoa salina com aumento de 200x em cada amostra.

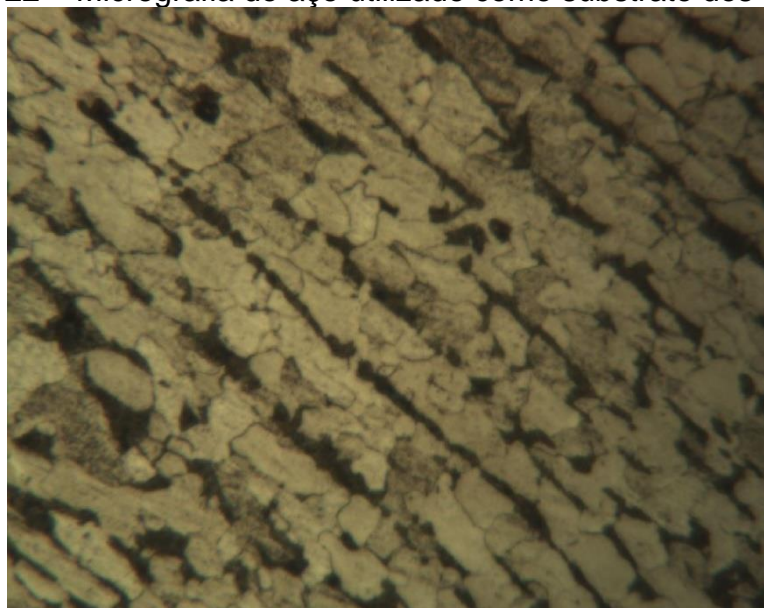
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na sequência, são apresentados os resultados e discussões do estudo realizado no presente trabalho.

4.1 ANÁLISE METALOGRAFICA DO AÇO

Inicialmente, a amostra, como recebida, foi preparada e analisada por meio da técnica de metalografia para identificação da microestrutura e também, do teor de carbono. A Figura 22 apresenta uma micrografia, obtida por meio de microscopia óptica, do aço após ataque químico, com aumento de 400X.

Figura 22 – Micrografia do aço utilizado como substrato dos estudos



Fonte: Autor (2023).

Avaliando-se a imagem apresentada na Figura 22, e fazendo uso do software Image.J para cálculo em porcentagem da fase clara, verifica-se que a mesma compreende 72,493% do total de fases presente na imagem.

A partir desse resultado foi possível determinar a porcentagem de carbono presente na amostra de acordo com a regra da alavanca invertida e o diagrama ferro-carbono, como apresentado nas equações 1 e 2.

$$W_p = \frac{T}{T + U} \quad (1)$$

$$0,72493 = \frac{0,76 - C'_0}{0,76 - 0,022} \quad (2)$$

$$C'_0 = 0,22$$

Logo, este resultado representa que o aço estudado refere-se a uma liga hipoeutetóide, que segundo Callister (1999, p.205) é uma liga com o percentual de composição de carbono à esquerda do eutetoide, entre 0,022%p C e 0,76%p C e também, e que apresenta microestrutura predominantemente composta de ferrita eutetóide, ferrita proeutetóide e cementita. O teor de carbono calculado encontra-se dentro da faixa presente em aços navais, como pode ser observada na norma ASTM A131-2014.

Na Tabela 4, adaptada de Storch *et al.* (1995, p.113), é apresentada a composição química dos principais aços navais. Considerando que o aço utilizado é um aço naval comum, acredita-se que o mesmo se refere ao aço A36.

Tabela 4 – Requisitos para aço estrutural de casco de resistência normal

| CLASSE A | | | | | |
|------------------------|---------|----------|---------|---------|---------|
| Composição Química | Carbono | Manganês | Fósforo | Enxofre | Silício |
| Porcentagem Máxima (%) | 0,23 | 0,90 | 0,04 | 0,04 | 0,00 |
| CLASSE D | | | | | |
| Composição Química | Carbono | Manganês | Fósforo | Enxofre | Silício |
| Porcentagem Máxima (%) | 0,21 | 1,35 | 0,04 | 0,04 | 0,35 |
| CLASSE E | | | | | |
| Composição Química | Carbono | Manganês | Fósforo | Enxofre | Silício |
| Porcentagem Máxima (%) | 0,18 | 1,35 | 0,04 | 0,04 | 0,35 |

Fonte: Adaptado de Storch *et al.* (1995).

Além da composição química, a Figura 22 permite observar que os grãos estão alongados o que indica que o aço da amostra foi laminado a quente. Esse

processo de transformação do aço é bastante empregado na indústria naval dado a sua ductilidade (SANTOS, 2011).

4.2 ESPECTROMETRIA DE EMISSÃO ÓPTICA

De forma a avaliar, com maior precisão, a composição química do material em estudo, realizou-se análises de espectroscopia de emissão óptica. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 5 que apresenta o valor médio de três medidas de composição química realizada no material como recebido, apresentados por elemento químico.

Tabela 5 – Composição química (porcentagem em peso) da amostra

| Composição Química | Carbono | Manganês | Fósforo | Enxofre | Silício |
|------------------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|
| Porcentagem Máxima (%) | 0,20 | 0,68 | 0,01 | 0,01 | 0,22 |

Fonte: Autor (2023).

Os valores apresentados se equiparam com os valores da literatura apresentados na Tabela 4 e o percentual de Carbono é próximo ao encontrado no cálculo pela regra da alavanca apresentado na equação 2. Logo, o aço do presente estudo pode ser aplicado na indústria naval.

4.3 TRATAMENTO DOS AÇOS COM TOCHA DE PLASMA

As amostras de aço A36, como mencionado anteriormente, foram submetidas a um processo de jateamento por plasma, com diferentes energias de incidência. Uma análise visual da amostra, após o jateamento, permite verificar que a mesma apresenta um processo de oxidação em algumas regiões da peça. A Figura 23 apresenta uma imagem das amostras após o processo de jateamento.

Figura 23 – Imagem da superfície das amostras após o tratamento de jateamento por tocha de plasma

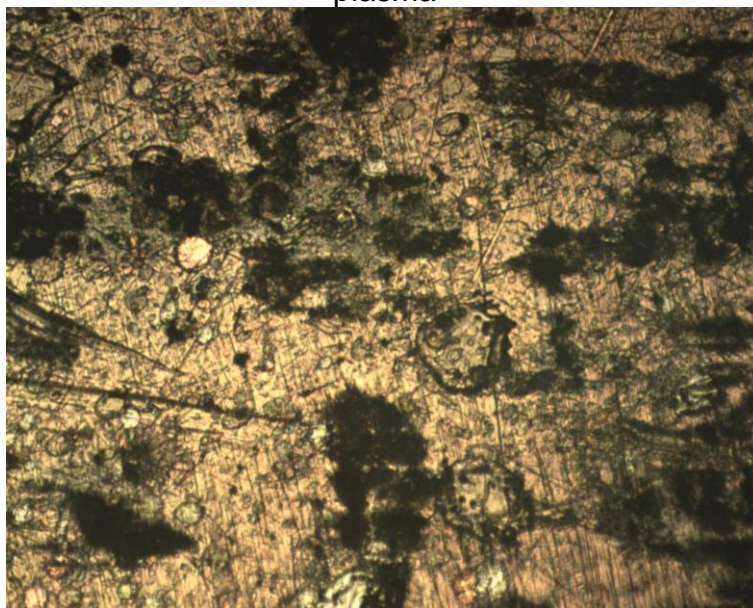


Fonte: Autor (2023).

Durante o processo de jateamento, verifica-se um grande aquecimento da amostra, podendo vir a danificar a mesma. Entretanto, se aplicado corretamente o calor promove mudanças na estrutura do material (GULLU; ATICI, 2006). Já o calor por sua vez varia de acordo com a corrente aplicada, ou seja, quanto maior a corrente maior o calor (SALONITIS; VATOUSIANOS, 2012).

Comparando-se a micrografia óptica apresentada na Figura 24 com a apresentada na Figura 25, feita por Gullu e Atici (2006) onde o mesmo avaliou as mudanças na estrutura de um aço carbono cortado por um processo de corte a plasma, é possível constatar que ambas apresentam uma região escura que é chamada pelos referidos autores como “zona de transição” que como o próprio nome já diz representa a transição da estrutura original da superfície do aço para uma nova estrutura morfológicamente alterada graças ao calor.

Figura 24 – Imagem da superfície da 3ª amostra após tratamento com jato de plasma



Fonte: Autor (2023).

Figura 25 – A área afetada pelo calor e a zona de transição do corte da amostra



Fonte: Adaptado de Gullu e Atici (2006).

4.4 PINTURA

Após o jateamento com a tocha de plasma, nas condições mencionadas na Tabela 2, as amostras foram pintadas utilizando-se um primer automotivo em spray. Na Figura 26 é apresentada uma imagem de uma das amostras após a pintura.

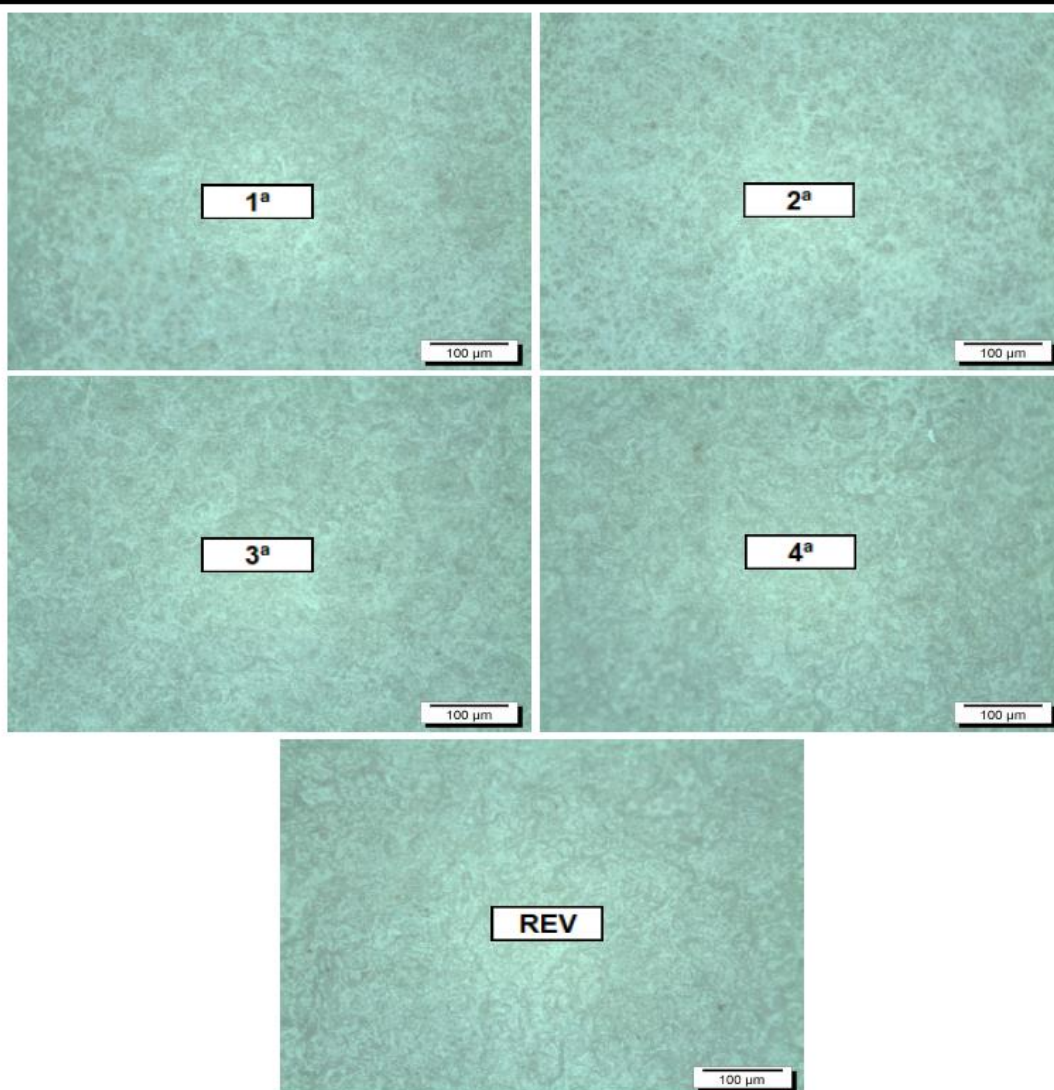
Figura 26 – Amostra de aço A36 jateada por plasma e revestida com tinta



Fonte: Autor (2023).

Além de uma análise visual, as amostras jateadas com plasma e pintadas tiveram sua superfície avaliada por microscopia óptica de forma a investigar possíveis alterações promovidas pelo processo de jateamento. Na Figura 27 são apresentadas as micrografias das amostras jateadas por plasma em diferentes condições de acordo com a Tabela 2, e posteriormente pintadas. Além disso, é apresentada a micrografia da Amostra REV que de acordo com o tópico 3.2.2 é a amostra tratada com jateamento abrasivo de areia.

Figura 27 – Microscopia das amostras após processo de jateamento e pintura



Fonte: Autor (2023).

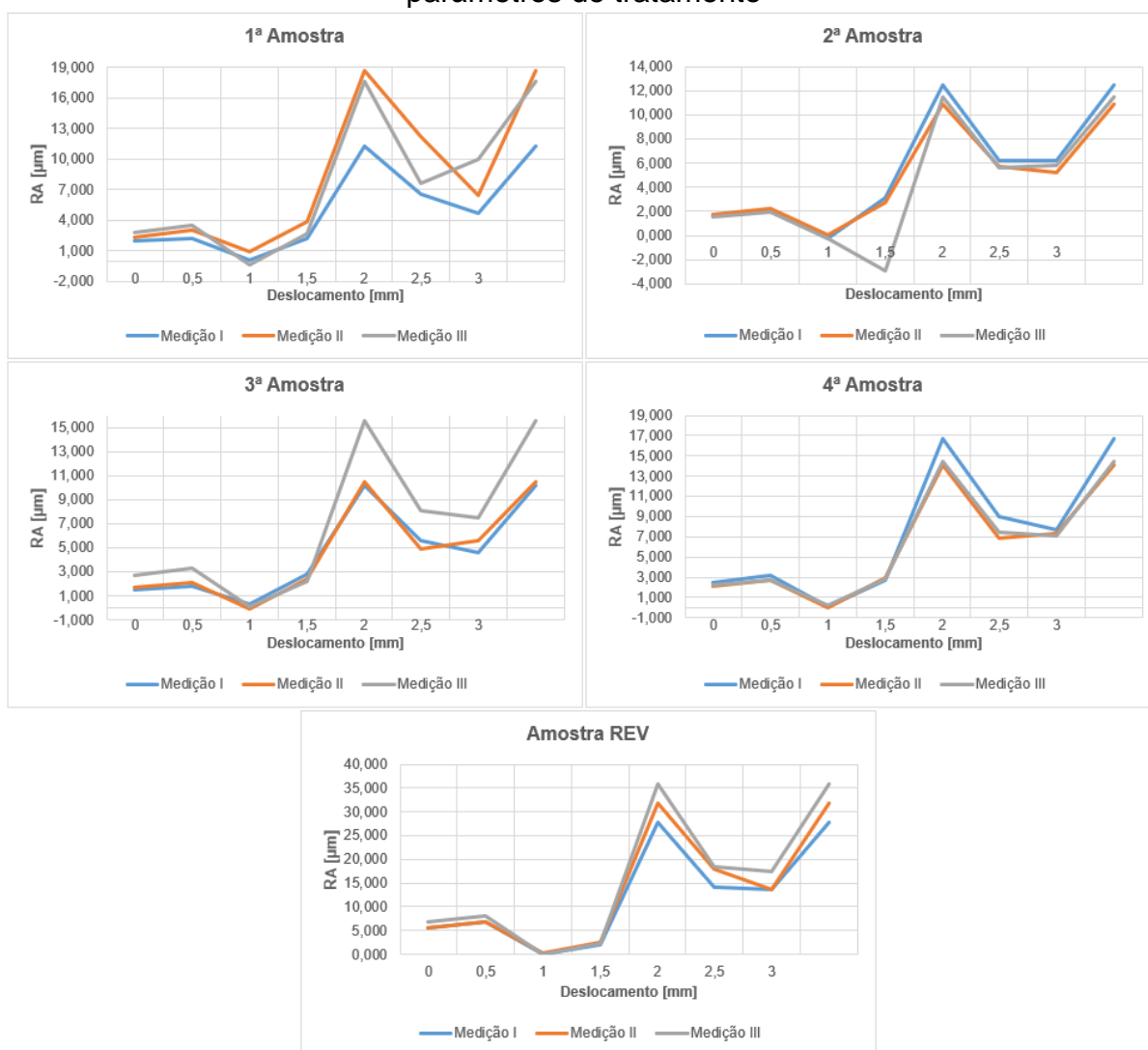
Analisando-se as micrografias obtidas das amostras de aço jateado em diferentes condições e pintadas, não se identifica uma mudança significativa em função do tratamento por meio desta análise. Isto se deve, possivelmente, ao fato de que, após a pintura, há uma uniformização da superfície, que mascara as imperfeições provocadas pela rugosidade gerada no processo de jateamento.

4.5 PERFILOMETRIA

Análises de perfilometria foram realizadas nas amostras tratadas por plasma e na amostra sem tratamento, de forma a avaliar a eficiência do processo na geração de rugosidade da superfície. Em geral, os processos convencionais, de jateamento

abrasivo com areia promovem alterações na superfície, elevando a rugosidade. Desta forma, uma maneira de investigar a influência e eficiência do jateamento por plasmas nas superfícies dos aços é verificar a rugosidade promovida pelo tratamento. Na Figura 28 são apresentados os resultados da rugosidade medida em duas dimensões, os picos e vales da superfície (R_A) em função de um deslocamento em cada amostra.

Figura 28 – Resultados gráficos de rugosidade das amostras em função dos parâmetros de tratamento



Fonte: Autor (2023).

A Tabela 6 apresenta a média e o desvio padrão dos dados apresentados na Figura 28 a fim de organizar e avaliar a dispersão e a uniformidade dos dados.

Tabela 6 – Valores dos parâmetros de rugosidade para as superfícies testadas

| Amostra | Energia empregada (A) | RA Médio (μm) | Desvio padrão (μm) |
|----------------|------------------------------|--|---|
| 1 ^a | 35 | 6,981 | 6,059 |
| 2 ^a | 45 | 4,928 | 4,456 |
| 3 ^a | 55 | 5,401 | 4,516 |
| 4 ^a | 65 | 6,679 | 5,475 |
| REV | -- | 13,914 | 11,753 |

Fonte: Autor (2023).

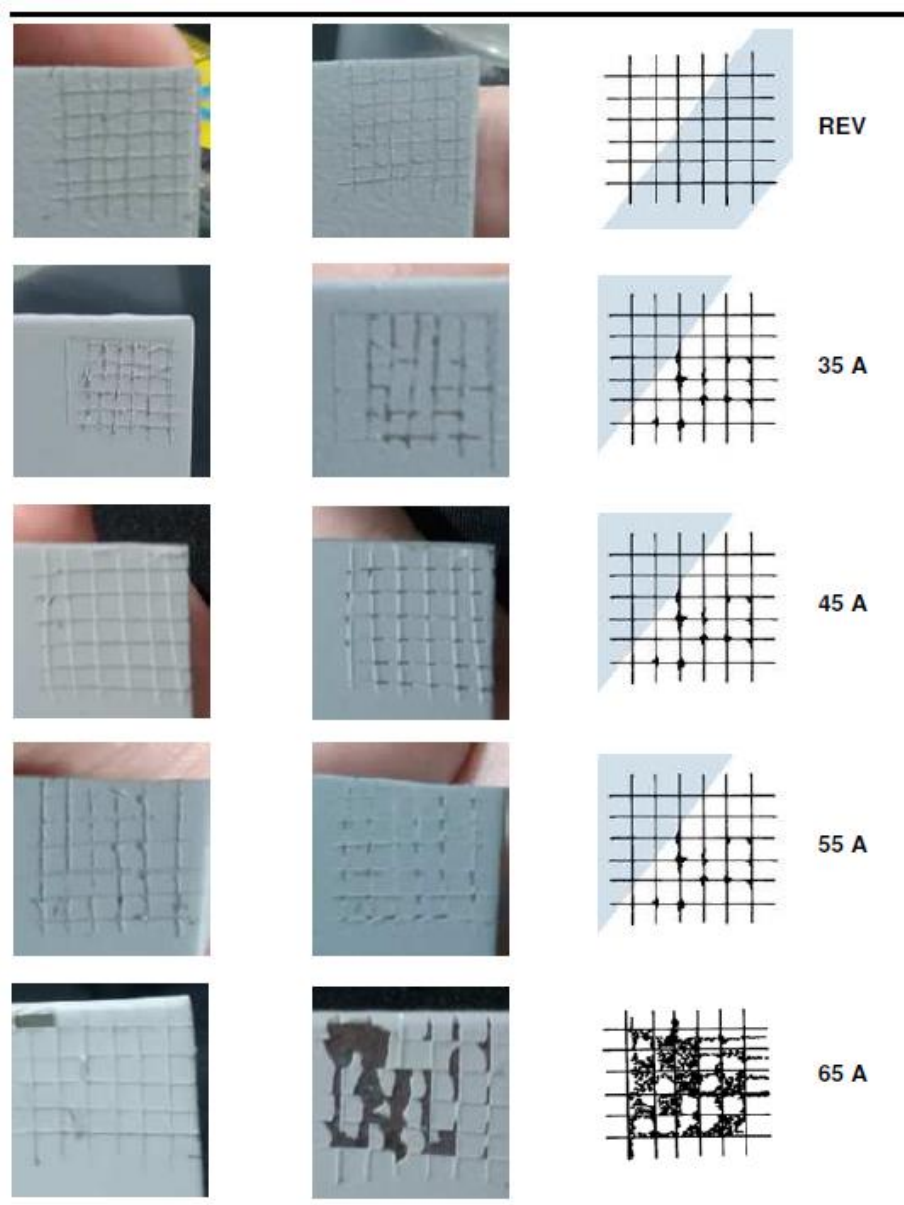
De acordo com os resultados apresentados na Tabela 6, pode-se verificar que a rugosidade, se comparada com a amostra jateada por processos convencionais (areia) é reduzida com a elevação da corrente aplicada no processo por plasma. De acordo com a Benea *et al.* (2018), uma amostra de aço naval, do tipo E32, sem pintura e tratamentos, apresenta uma rugosidade Ra, da ordem de 11,113 μm . Neste mesmo trabalho, os autores verificaram que as amostras, após a pintura, tiveram uma redução na rugosidade Ra para 2,560 μm . Comparando-se com os resultados apresentados no presente estudo, verifica-se que a rugosidade média apresentada para a amostra jateada por processos convencionais é da mesma ordem daquela apresentada pelo aço E32 (BENEA *et al.*, 2018).

Após o processo de jateamento por plasma, verifica-se uma redução significativa na rugosidade, indicando que este processo pode ser considerado mais controlado, o que é evidenciado pelo cálculo do desvio padrão e que agride menos a superfície da amostra.

4.6 TESTE DE ADESÃO

Na sequência são apresentados os resultados do teste de adesão da tinta sobre a superfície dos aços tratados. Este teste é qualitativo e visa avaliar se o tratamento influi de alguma forma na adesão do revestimento polimérico empregado no setor naval. Na Tabela 7 são apresentadas imagens da superfície das amostras testadas e um comparativo com o padrão mais próximo daqueles listados na Tabela 3 estabelecidos pela Norma NBR 11003:2009.

Tabela 7 – Resultado do teste de adesão e comparação com a Norma NBR 11003:2009



Fonte: Autor (2023).

Analisando-se os resultados apresentados na Tabela 7, observa-se que a amostra tratada com jateamento de areia (REV) apresenta maior adesão superficial após o ensaio, sendo classificada acordo com o código Gr₀ da norma. Por outro lado, as amostras jateadas por plasma, com a utilização de corrente elétrica de 35A, 45A e 55A, apresentaram maior deslocamento de tinta durante o ensaio, enquadrando-se na classificação Gr₁. Além disso, a amostra na qual a energia de tratamento foi a maior, fazendo uso de uma corrente de 65A, visivelmente teve um maior deslocamento, tendo aproximadamente 65% da área quadriculada destacada.

Relacionando-se estes valores com os encontrados nas análises de rugosidade, verifica-se que a adesão está diretamente relacionada com a rugosidade, ou seja, amostras que apresentaram valores de rugosidade maiores, tiveram maior adesão superficial da tinta. Este resultado pode ser explicado fisicamente por um processo de ancoragem mecânica da tinta com a superfície, ou seja, quanto mais rugosa, mais pontos de ligação entre o aço e a tinta (CROLL, 2020). Porém, uma alta aplicação de calor pode causar fusões que uniformizam a superfície diminuindo a ancoragem entre a tinta e a superfície.

Desta forma, pode-se dizer que do ponto de vista de adesão da tinta, as amostras jateadas por plasma são menos eficientes que as que utilizam processos convencionais. Entretanto, é necessário avaliar qual o nível de adesão necessário antes de descartar o processo como uma alternativa viável para preparação de superfícies de aços navais para pintura. E além disso, uma adesão maior não garante a sobrevivência em longo prazo de exposição a um ambiente agressivo. Longevidade significativa e adicional pode ser alcançada alterando a química do metal e do polímero na interface para a qual existem muitas possibilidades, tanto comerciais quanto em pesquisa (CROLL, 2020).

4.7 ENSAIO DE NÉVOA SALINA

Considerando que os revestimentos poliméricos são aplicados nos aços navais principalmente para minimizar processos de corrosão, análise das amostras em condições similares as de trabalho são fundamentais. Assim, de forma a avaliar a influência do tratamento por plasma na resistência a corrosão do aço naval estudado, expôs-se as amostras tratadas em ambiente de névoa salina, durante 48 horas, seguindo o que rege a Norma ABNT NBR 8094 de 1983.

A Figura 29 apresenta fotos das amostras antes e após a exposição em névoa salina, onde é possível observar que os processos de corrosão são similares para todas as amostras. Avaliando-se as imagens, verifica-se que a amostra que foi jateada pelo processo convencional, em areia, apresentou uma corrosão aparentemente mais significativa que aquelas que foram tratadas por plasma.

Cabe destacar que o processo de corrosão ocorreu nas laterais da amostra, onde não havia revestimento. Na parte central não se verifica o processo de corrosão em nenhuma das amostras tratadas por plasma, entretanto, na amostra jateada por

processo convencional verifica-se o início do processo de corrosão na superfície interna da amostra.

Figura 29 – Análise visual das amostras antes e após a imersão em névoa salina por 48 horas



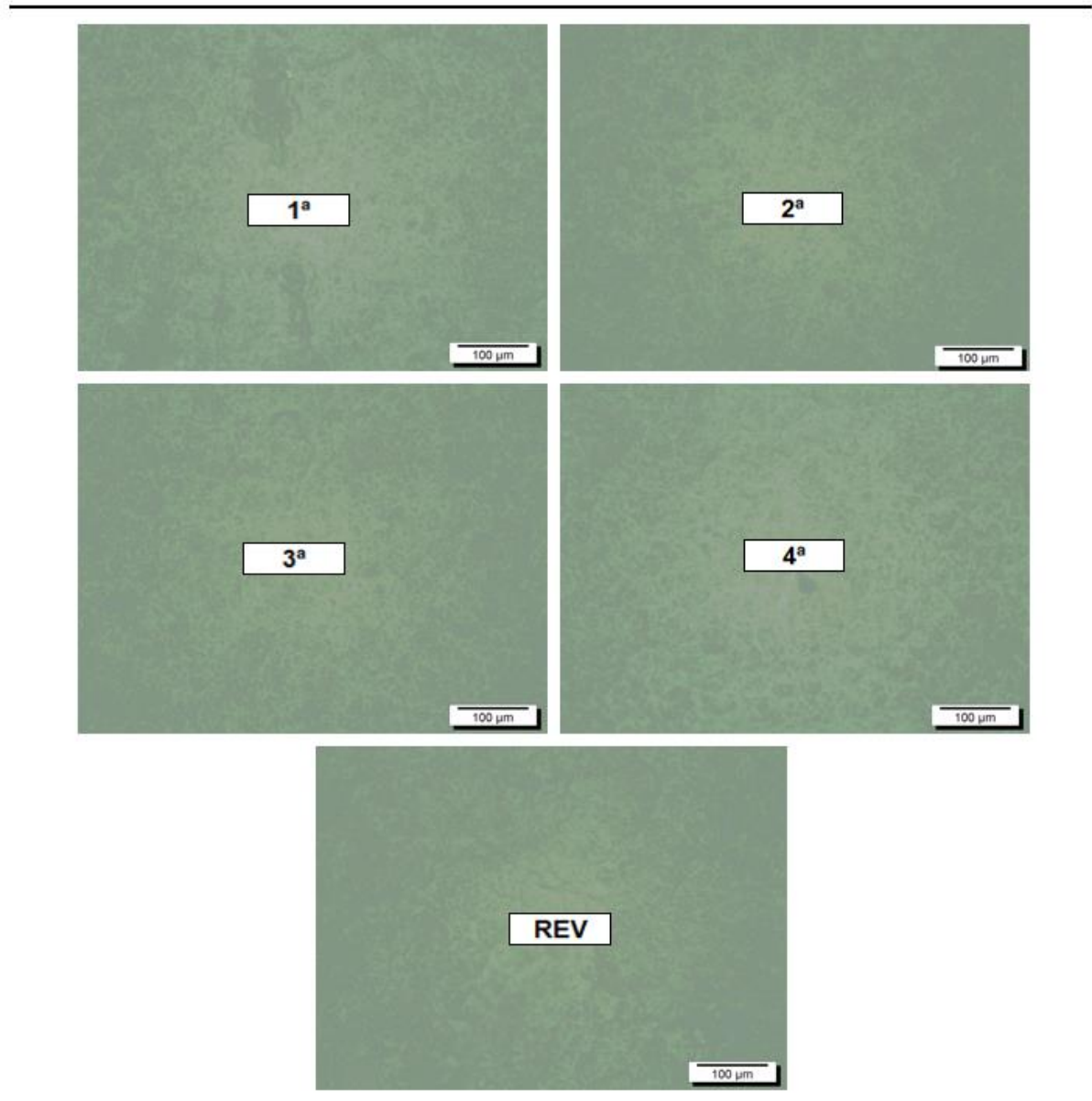
Fonte: Autor (2023).

A resistência a corrosão pode ser influenciada pela presença de elementos de liga uma vez que estes uniformizam a superfície formando carbonetos resistentes a

corrosão (YAN; ZHU, 1997). Logo, ainda que a concentração de carbono seja baixa na liga em estudo, o fenômeno ainda é possível.

De forma a avaliar a superfície das amostras após o processo de corrosão por névoa salina, as amostras foram analisadas por microscopia óptica, com amplificação de 200X. Na Figura 30 são apresentadas as micrografias das amostras tratadas por plasma e da jateada por processo convencional. Analisando-se as imagens não é possível verificar grandes mudanças na superfície das amostras obtidas em diferentes condições de tratamento. Além disso, não se verifica deslocamento aparente nas superfícies após o processo de névoa salina, o que permite inferir que os processos utilizados são eficientes para favorecer a aderência da tinta na superfície.

Figura 30 – Microscopia das amostras após processo de jateamento, pintura e névoa salina



Fonte: Autor (2023).

5 CONCLUSÃO

O estudo bibliográfico buscou caracterizar o processo de pintura na indústria naval, mostrando as suas vantagens e desvantagens e como este pode melhorar se utilizando de métodos utilizados em outras indústrias no que diz respeito a preparação da superfície.

O tema foi conduzido em um primeiro momento com a caracterização das amostras de aço naval A36 de modo a certificar que as mesmas apresentem as características esperadas pela indústria e pela literatura o que foi amplamente provado pelos testes envolvidos.

As amostras foram tratadas em uma das superfícies utilizando-se da técnica proposta pelo estudo, o jateamento por plasma térmico e os resultados foram comparados com a amostra tratada pelo processo de jateamento abrasivo e também com resultados da literatura.

A superfície de uma amostra recém jateada por plasma foi investigada por microscopia óptica onde se observou e se discutiu as modificações morfológicas sofridas tal como as causas dessas modificações. Por fim, essa e as demais amostras foram pintadas e na sequência foram novamente investigadas no microscópio óptico onde se constatou a homogeneidade da superfície pós pintura.

Os resultados em termos de rugosidade se mostraram condizentes com os encontrados na literatura, enquanto que a adesão se mostrou menos eficiente em relação aos processos comuns. A corrosão, por outro lado, apresentou resultados promissores que podem em um primeiro momento validar o estudo como uma meta cumprida já que tanto visualmente como microscopicamente, a corrosão embutida pelo ensaio de névoa salina não promoveu o deslocamento da tinta na superfície.

É importante destacar também os ganhos ambientais em função da tecnologia a plasma uma vez já que esta não gera resíduos e nem se utiliza de materiais provenientes da extração do solo o que a coloca no radar dos novos paradigmas construtivos da indústria naval que cada vez mais, exige processos e materiais sustentáveis.

Por fim, vale a reflexão sobre uma possível aplicação da técnica envolvendo plasma na indústria naval e se a mesma é viável economicamente em relação ao custo de equipamento e também em relação a efetividade do processo e se isso

alteraria a duração do processo comumente empregado na preparação da superfície do aço já que muitas vezes os processos dentro do estaleiro são provenientes de repetições e não de estudos e/ou reflexões em prol da otimização de gastos e processos.

6 TRABALHOS FUTUROS

Para futuros trabalhos seria recomendado:

- Aumento no número de amostras testadas de modo a garantir uma maior inferência de dados além de garantir que os ensaios não sofram influencia entre si.
- Padronização quanto a aplicação do jateamento por plasma e medições de temperatura durante o processo.
- Garantir um tratamento total de superfícies tal como a pintura total das amostras uma vez que isso permitirá testes mais longos de névoa salina.
- Padronizar e quantificar de maneira metódica o processo de jateamento abrasivo.
- Utilização de um primer e/ou tinta específico para aplicações navais.
- Comparação entre as tecnologias de plasma disponíveis.
- Microscopias mais regulares e modernas de modo a aumentar o número e a qualidade das caracterizações superficiais e microestruturais.
- Promoção de mais ensaios quantitativos e não qualitativos de modo a poder haver mais comparação entre trabalhos externos e/ou da literatura.
- Expor amostras tratadas e pintadas ao ambiente marítimo afim de tecer comparações com as amostras submetidas ao ensaio de névoa salina e também aumentar o tempo de exposição dessa última.
- Providenciar valores de rugosidade superficial aplicados na indústria para pintura de modo a promover comparações entre a rugosidade aplicada nas amostras com a rugosidade exigida e/ou recomendadas.

REFERÊNCIAS

A FRIDMAN, et al. Non-thermal atmospheric pressure discharges. **Journal Of Physics D: Applied Physics**, [S.L.], v. 38, n. 2, p. 1-24, 7 jan. 2005. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/0022-3727/38/2/r01> .

ALVES JUNIOR, Clodomiro. Plasma frio atmosférico – novas oportunidades de pesquisa numa plataforma versátil e portadora de futuro. **Matéria (Rio de Janeiro)**, [S.L.], v. 25, n. 4, p. 57-74, abr. 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620200004.1212> .

AMBIPAR (ed.). **Docagem de navios | Quais tipos de serviços são realizados**. Disponível em: <https://www.c-tank.com.br/docagem-de-navios-quais-tipos-de-servicos-sao-realizados/> . Acesso em: 13 fev. 2023.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM A131**: Standard Specification for Structural Steel for Ships. Philadelphia, 2014.

ANTONIO MAURO MIRANDA SARAMAGO. **Oficina de Trabalho – Alternativas Tecnológicas ao Jateamento com Areia**: a experiência dos estaleiros do estado do rio de janeiro. A Experiência dos Estaleiros do Estado do Rio de Janeiro. 2005. SINAVAL — Sindicato Nacional da Indústria da Construção Naval. Disponível em: <http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/EME715/AT%20PGMEC/Artigos%20para%20Sem%20in%20C3%A1rio/Jateamento%20abrasivo%20Naval.pdf> . Acesso em: 28 abr. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8094: Material metálico revestido e não revestido - corrosão por exposição à névoa salina**. Rio de Janeiro, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11003: Pintura industrial — Determinação da aderência pelos métodos de corte na pintura.** Rio de Janeiro, 2009.

BENEA, Lidia *et al.* Anticorrosion performances of modified polymeric coatings on E32 naval steel in sea water. **Progress In Organic Coatings**, [S.L.], v. 123, p. 120-127, out. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.porgcoat.2018.06.020> .

CALLISTER, William D.. **Ciência e Engenharia de Materiais - Uma Introdução.** 5. ed. [S.l.]: Ltc, 1999. 896 p.

CARREIRA, Cátia Andreia dos Santos. **Plasma para a Modificação de Superfícies.** 2015. 213 f. Tese (Doutorado) - Curso de Química e Bioquímica, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Porto, 2015.

CONVENÇÃO, Internacional para Salvaguarda da Vida Humana no Mar/ Safety of Life at Sea (SOLAS), 1988.

CROLL, S.G.. Surface roughness profile and its effect on coating adhesion and corrosion protection: a review. **Progress In Organic Coatings**, [S.L.], v. 148, p. 105847, nov. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.porgcoat.2020.105847> .

GNECCO, Celso - **Tratamento de superfície e pintura** / Celso Gnecco, Roberto Mariano, Fernando Fernandes. -- Rio de Janeiro: IBS/SBCA, 2003.

GOMES, Ana Paula Martins. **Metalização em substratos poliméricos aplicados no setor de materiais sanitários**. 2016. 71 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Infraestrutura, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2016.

GULLU, Abdulkadir; ATICI, Umut. Investigation of the effects of plasma arc parameters on the structure variation of AISI 304 and St 52 steels. **Materials & Design**, [S.L.], v. 27, n. 10, p. 1157-1162, jan. 2006. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2005.02.014> .

HNATIUC, B *et al.* Changing the surface properties on naval steel as result of non-thermal plasma treatment. **Iop Conference Series: Materials Science and Engineering**, [S.L.], v. 145, n. 8, p. 082006, ago. 2016. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899x/145/8/082006> .

IONITA, E.R. *et al.* Small size plasma tools for material processing at atmospheric pressure. **Applied Surface Science**, [S.L.], v. 255, n. 10, p. 5448-5452, mar. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2008.10.082> .

IWAO, Toru *et al.* Portable application of thermal plasma and arc discharge for waste treatment, thermal spraying and surface treatment. **Ieej Transactions On Electrical And Electronic Engineering**, [S.L.], v. 1, n. 2, p. 163-170, 2006. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/tee.20033> .

LELLES, Leandro Camillo de *et al.* Perfil ambiental qualitativo da extração de areia em cursos d'água. **Revista Árvore**, [S.L.], v. 29, n. 3, p. 439-444, jun. 2005. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-67622005000300011> .

MACHADO, A. R. *et al.* Teoria da usinagem dos materiais. 3 ed. São Paulo, Blucher, 2015.

MANÁGAS (ed.). **Guia de referência para seleção de gases para Corte Plasma.** Disponível em: <https://www.managas.com.br/blog/corte-e-solda/guia-de-referencia-para-selecao-de-gases-para-corte-plasma/> . Acesso em: 18 fev. 2023.

MELLO, Carina Barros. **MODIFICAÇÃO DAS PROPRIEDADES SUPERFICIAIS DE MATERIAIS ATRAVÉS DA IMPLANTAÇÃO DE CROMO POR RECOIL POR MEIO DE IMPLANTAÇÃO IÔNICA POR IMERSÃO EM PLASMA DE NITROGÊNIO.** 2007. 169 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Tecnologia Espaciais, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2007.

MHM LIMPEZA DE TANQUES. **Limpeza do Casco de Navio.** 2020. Disponível em: <https://mhmlimpezadetanques.com.br/wp-content/uploads/2020/09/limpeza-casco-navio-01.jpg> . Acesso em: 13 fev. 2023.

MIGUÊZ, Raphant Costa *et al.* **Pintura Industrial Para Casco de Navios.** 2017. 44 f. TCC (Doutorado) - Curso de Curso de Formação de Oficiais de Náutica da Marinha Mercante, Marinha do Brasil, Rio de Janeiro, 2017.

SALONITIS, K.; VATOUSIANOS, S.. Experimental Investigation of the Plasma Arc Cutting Process. **Procedia Cirp**, [S.L.], v. 3, p. 287-292, 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2012.07.050> .

SAMAL, Sneha. Thermal plasma technology: The prospective future in material processing. **Journal Of Cleaner Production.** [S. L.], p. 3131-3150. 20 jan. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.154> .

SANTOS, Miguel Moreira dos. A APLICAÇÃO DO AÇO NA INDÚSTRIA NAVAL. 2011. 50 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnologia em Construção Naval, Centro Universitário da Zona Oeste, Rio de Janeiro, 2011.

SHENTON, M J; STEVENS, G C. Surface modification of polymer surfaces: atmospheric plasma versus vacuum plasma treatments. **Journal Of Physics D: Applied Physics**, [S.L.], v. 34, n. 18, p. 2761-2768, 5 set. 2001. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/0022-3727/34/18/308> .

SILVA, Felipe Rodolfo Ferreira da. **A PINTURA COMO PROTEÇÃO ANTICORROSIVA ACIMA DA LINHA D'ÁGUA DE UMA NAU**. 2011. 24 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnologia em Construção Naval, Centro Universitário da Zona Oeste, Rio de Janeiro, 2011.

STORCH, Richard Lee *et al.* **Ship Production**. 2. ed. Centreville: Cornell Maritime Press, 1995. 466 p.

TENDERO, Claire *et al.* Atmospheric pressure plasmas: a review. **Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy**, [S.L.], v. 61, n. 1, p. 2-30, jan. 2006. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.sab.2005.10.003> .

TERRA FILHO, Mario *et al.* Silicose. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, [S.L.], v. 32, n. 2, p. 41-47, maio 2006. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1806-37132006000800008> .

USIMINAS. **Soluções Usiminas**. Disponível em: <https://www.usiminas.com/wp-content/themes/usiminas/dist/pdf/catalogo-solucoes-usiminas.pdf> . Acesso em: 18 jun. 2023.

WEG TINTAS (Santa Catarina). **DT-12 Treinamento Pintura Industrial com Tintas Líquidas**. Disponível em:

https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h7c/h96/Apostila-DT-12-Tinta-Liquida_2018.pdf . Acesso em: 13 fev. 2023.

YAN, M.; ZHU, W.Z.. Surface treatment of 45 steel by plasma-arc melting. **Surface And Coatings Technology**, [S.L.], v. 91, n. 3, p. 183-191, maio 1997. Elsevier BV.

[http://dx.doi.org/10.1016/s0257-8972\(96\)03181-7](http://dx.doi.org/10.1016/s0257-8972(96)03181-7) .