

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS  
CURSO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS**

**MOISÉS APGÁUA HATEM**

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO SHOP PRIMER DE ETIL SILICATO DE  
ZINCO APLICADO EM CHAPAS METÁLICAS NAS OPERAÇÕES DE  
CORTE A PLASMA**

**BELO HORIZONTE  
2019**

MOISÉS APGÁUA HATEM

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO SHOP PRIMER DE ETIL SILICATO DE  
ZINCO APLICADO EM CHAPAS METÁLICAS NAS OPERAÇÕES DE  
CORTE A PLASMA**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado no curso de Engenharia de  
Materiais do Centro Federal de Educação  
Tecnológica de Minas Gerais como  
requisito parcial para obtenção do título de  
bacharel em Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Cláudio Turani Vaz

BELO HORIZONTE  
2019

MOISÉS APGÁUA HATEM

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO PRIMER DE SILICATO DE ZINCO APLICADO  
EM CHAPAS METÁLICAS NAS OPERAÇÕES DE CORTE A PLASMA

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado no curso de Engenharia de  
Materiais do Centro Federal de Educação  
Tecnológica de Minas Gerais como  
requisito parcial para obtenção do título de  
bacharel em Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Cláudio Turani Vaz

Aprovado em:

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Cláudio Turani Vaz

---

Enga. Keila Cristina Vilela

---

Químico Hilton Wanderley de Castro – Akzo Nobel International

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer e dedicar essa dissertação às seguintes pessoas:

Minha família, minha mãe, Maria Eliza, meu pai, Eugênio, irmãs, Irene e Nádia, pelo apoio e compreensão durante todos esses anos da busca pelo meu sonho.

Meus amigos de infância e novos amigos que adquiri durante minha caminhada, que compartilharam diversos momentos felizes e sempre me incentivaram a conquistar meus objetivos.

Minha namorada, Flávia, por todo amor, por sempre enxergar o melhor de mim e me fazer crescer cada vez mais.

Meu professor orientador Cláudio, que dedicou tempo e disposição para me acompanhar nesse trabalho, por cada momento de aprendizado disponibilizado por ele.

Todos os professores do CEFET-MG, por todo conhecimento passado e por toda dedicação para tal.

Aos funcionários do CEFET-MG que tornaram mais fácil o trabalho de alguma forma, com auxílios nos laboratórios, limpeza e auxílio nos procedimentos experimentais.

A todas as pessoas que de alguma forma estavam presentes e tiveram certa importância nessa caminhada de crescimento e conhecimento trilhada por mim.

Muito obrigado! Essa conquista de nada teria valor, se não fosse compartilhada com todos vocês!

## RESUMO

O trabalho realizado tem por objetivo analisar a influência da tinta de pré construção (shop primer) aplicada no revestimento de chapas metálicas, sobre a operação de corte a plasma. Para isso, padronizou-se a operação de aplicação do primer, controlando a espessura de revestimento obtida, e a operação de corte a plasma, utilizando parâmetros considerados ótimos pela literatura. Na metodologia desenvolvida, chapas metálicas de aço ASTM A36 foram cortadas para obterem-se corpos de prova. Na operação de aplicação do revestimento, a espessura da camada foi variada alterando quantidade de demãos da tinta, tornando possível quantificar a influência dessa tinta no processo de corte. O processo de corte a plasma foi executado para os corpos de prova com diferentes camadas do primer. Nos resultados, foram analisadas as espessuras da queima e o ângulo das linhas internas de corte formadas através de um software de imagens, e a rugosidade com a utilização de um rugosímetro. As análises apresentaram valores dentro do esperado de acordo com a literatura, e não apresentaram variação entre si, quando comparados os corpos de prova com diferentes espessuras de revestimento com os sem revestimento. Isso permite concluir que o shop primer não influenciou nas operações de corte, utilizando os materiais e metodologia adotados.

Palavras-chave: Shop primer, corte a plasma.

## **ABSTRACT**

The objective of this work is to analyze the influence of Shop Primer paint, used as coating metal plates, on plasma cutting process. For this, the primer application operation, the control of coating thickness, and the plasma cutting operation were standardized, using the variables evaluated in the literature. In the developed methodology, ASTM A36 steel plates were cut to obtain specimens. For the coating application operation, the thickness measurements were increasing according to the amount of paint applications, allowing a possible quantification of the influence of this paint on the cutting process. The plasma cutting process was performed for specimens with different primer layers. The results were analyzed as firing thickness and angle of the internal cutting lines formed by an image software, and a roughness using a roughness meter. As the statistics described within the expected according to the literature, and did not show variation between them, when comparing the specimens with different coating thicknesses with no coating. This leads to the conclusion that shop primer did not influence the cutting operations, using the materials and methodology adopted.

**Keywords:** Shop Primer, Plasma arc cut.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1: Esquema do equipamento de corte a plasma</b> .....	18
<b>Figura 2: Fonte PowerMax 85</b> .....	18
<b>Figura 3: Esquema de uma tocha de corte a plasma</b> .....	19
<b>Figura 4: Esquema de uma peça cortada e suas regiões.</b> .....	23
<b>Figura 5: Fluxograma da parte experimental.</b> .....	25
<b>Figura 6: Corpos de prova obtidos a partir de uma das chapas de aço.</b> .....	27
<b>Figura 7: Corpo de prova com marcação dos eixos X e Y.</b> .....	28
<b>Figura 8: Chapa após jateamento</b> .....	29
<b>Figura 9: Equipamento preparado para a aplicação do primer sobre a chapa.</b> .....	30
<b>Figura 10: Chapa de aço após segundo teste de aplicação do Shop Primer.</b> .....	31
<b>Figura 11: Corpos de prova 4, 5 e 6 após aplicação do primer.</b> .....	32
<b>Figura 12: Quadro da filmagem do corte</b> .....	33
<b>Figura 13: Cps 4, 5 e 6 após o corte</b> .....	34
<b>Figura 14: Análise da área do CP1 através do programa ImageJ e b) análise do ângulo de arraste formado nas linhas de corte do CP6.</b> .....	36
<b>Figura 15: Superfícies analisadas pelo rugosímetro.</b> .....	37
<b>Figura 16: Equipamento em análise da rugosidade.</b> .....	37
<b>Figura 17: Esquema do corpo de prova cortado, com regiões descritas.</b> .....	40

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1: Empregos nos estaleiros brasileiros durante os anos de 2007 até 2016.....</b>	<b>14</b>
<b>Tabela 2: Parâmetros de corte a plasma para alumínio e Aços Inoxidável e ao carbono. .....</b>	<b>21</b>
<b>Tabela 3: Parâmetros de corte a plasma para alumínio e Aços Inoxidável e ao carbono. .....</b>	<b>22</b>
<b>Tabela 4: Espessura da camada depositada ao longo do eixo X após a 1ª aplicação. ....</b>	<b>47</b>
<b>Tabela 5: Espessura (<math>\mu\text{m}</math>) do primer ao longo do eixo X após a 2ª aplicação.....</b>	<b>47</b>
<b>Tabela 6: Medida das espessuras dos corpos de prova sem aplicação do primer. ....</b>	<b>48</b>
<b>Tabela 7: Medidas das espessuras (em micron) de primer depositado sobre os CPs. ....</b>	<b>48</b>
<b>Tabela 8: Medições de área superior e inferior, comprimento e ângulo obtidos na análise com o software ImageJ, e valores de espessura 1 e 2 (<math>\mu\text{m}</math>) calculados. ....</b>	<b>49</b>

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1: Tamanho da ZTA em função da velocidade de corte. ....</b>	<b>24</b>
<b>Gráfico 2: Espessura Real da camada de primer na chapa teste após segunda aplicação, ao longo do eixo X. ....</b>	<b>38</b>
<b>Gráfico 3: Espessura média da superfície dos CPs com diferentes camadas de primer, ao longo do eixo X. ....</b>	<b>39</b>
<b>Gráfico 4: Espessura da ZTA (mm) calculada a partir da área de queima de cada CP. ....</b>	<b>41</b>
<b>Gráfico 5: Ângulos de arraste médios dos CPs obtidos a partir da análise no software ImageJ. ....</b>	<b>42</b>
<b>Gráfico 6: Medidas de rugosidade obtidas das metades superiores dos corpos de prova. ....</b>	<b>43</b>
<b>Gráfico 7: Medidas de rugosidade obtidas das metades inferiores dos corpos de prova. ....</b>	<b>43</b>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	11
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b>	12
<b>2.1</b>	<b>Objetivo geral</b>	12
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	13
<b>3.1</b>	<b>A indústria naval</b>	13
3.1.1	Histórico e evolução	13
3.1.2	Cenário recente	14
<b>3.2</b>	<b>A corrosão</b>	14
<b>3.3</b>	<b>A proteção contra a corrosão</b>	15
<b>3.4</b>	<b>Soldagem e corte na indústria naval</b>	16
<b>3.5</b>	<b>Corte a plasma</b>	17
3.5.1	Definição	17
3.5.2	Equipamentos	17
3.5.3	Segurança na soldagem/corte	20
3.5.4	Técnica operatória e variáveis do processo	20
3.5.5	Qualidade do corte plasma	22
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	25
<b>4.1</b>	<b>Características do trabalho desenvolvido</b>	25
<b>4.2</b>	<b>Materiais</b>	26
<b>4.3</b>	<b>Métodos</b>	26
4.3.1	Preparação dos corpos de prova	26
4.3.2	Operação de corte	26
4.3.3	Padronização da operação de deposição do primer	28
4.3.4	Aplicação do primer	31
4.3.5	Operação de corte	32
4.3.6	Análise dos resultados	35
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	38
<b>5.1</b>	<b>Aplicação do primer na chapa teste</b>	38
<b>5.2</b>	<b>Aplicação do primer nos corpos de prova</b>	39
<b>5.3</b>	<b>Análise dos corpos de prova cortados</b>	40
5.3.1	Análise por software da espessura da ZTA e ângulo de arraste	40
5.3.2	Análise da rugosidade	42
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	44

## 1 INTRODUÇÃO

A indústria naval brasileira é um setor com grande influência na economia. Os estaleiros presentes no país produzem as mais diversas embarcações em larga escala, em dimensões e tecnologia utilizada elevadas. Para garantir um processo produtivo controlado e eficiente, é preciso controlar toda a operação, o que envolve amplos processos, como o de corte, usinagem e confecção de componentes metálicos.

Um fator que com grande influência na vida útil de componentes, peças e chapas metálicas é a corrosão. As chapas metálicas em contato com o ambiente marítimo têm o processo de corrosão acelerado devido à presença de elevada concentração de sais na água do mar. Uma das formas de diminuir a ação corrosiva desse ambiente é a utilização de tintas como revestimento, que evitam o contato direto dos componentes com o meio, além de fornecerem proteção catódica, garantindo com que o metal base se mantenha íntegro.

Um dos revestimentos utilizados em camadas de tintas sobre as chapas metálicas é o Shop Primer. Das suas diversas possíveis composições, aquela composta por etil silicato de zinco permite a proteção dos metais em ambientes bastante agressivos, como contato com petróleo e água do mar, devido à presença do zinco que garante a proteção catódica do metal. O primer Interplate 855, fornecido pela empresa International, com essa composição, foi utilizado nesse trabalho.

O corte a plasma permite obter chapas de uma ampla faixa de espessura de forma rápida e eficiente. O processo utiliza a energia fornecida por elevadas correntes elétricas para fundir peças metálicas em pontos específicos, cortando-as em dimensões e formatos desejados de forma controlada. Trata-se de um procedimento fortemente presente no ambiente industrial, assim como na produção de navios e embarcações.

Segundo o fornecedor do Shop Primer, a empresa International, alguns comentários dos clientes que utilizam o primer inferem que o mesmo possui influência sobre o processo de corte, dificultando-o. Neste trabalho, um estudo científico foi elaborado visando a análise da influência do revestimento de Shop Primer no processo de corte; para analisar e quantificar essa influência, uma pesquisa para embasar o método utilizado, envolvendo a padronização de toda operação, foi necessária.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

O trabalho realizado tem como objetivo analisar a influência do shop primer, utilizado como revestimento anticorrosivo para chapas metálicas, no processo de corte a plasma. Segundo a empresa fornecedora da tinta, a International, uma reclamação recorrente de seus clientes é que, para chapas revestidas com o mencionado revestimento, o processo é dificultado. Assim sendo, visando compreender sob um viés científico a problemática acima apresentada, uma análise comparativa entre corpos de prova sem e com o revestimento foi realizada, e camadas com diferentes espessuras foram estudadas. O presente trabalho apresenta-se, então, como uma tentativa de comprovar e quantificar essa influência, ou até mesmo desmistificar o inferido, seguindo uma metodologia de execução de procedimentos e análise dos resultados que possa embasar a conclusão alcançada.

### **2.2 Objetivos específicos**

- a) Aplicar os conhecimentos adquiridos durante o curso de Engenharia de Materiais aplicar o processo de corte a plasma sobre peças metálicas;
- b) Aprofundar o conhecimento de processamento dos materiais metálicos, assim como sua utilização e importância nas práticas e procedimentos das empresas;
- c) Preparar corpos de prova para execução do trabalho;
- d) Padronizar o processo de corte a plasma e de aplicação homogênea de diferentes espessuras camadas de Shop primer, através da mecanização do procedimento e ajuste dos parâmetros.
- e) Aplicar o Shop primer nos corpos de prova;
- f) Realizar o corte das chapas utilizando parâmetros ótimos;
- g) Fazer análises necessárias dos resultados do processo para inferir sobre a influência do primer nos processos de corte.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 A indústria naval

##### 3.1.1 Histórico e evolução

Segundo PASIN (2002), o primeiro estaleiro do Brasil foi construído no terceiro quarto do século 19, em Niterói, Rio de Janeiro, por Barão de Mauá. Porém, as relações internacionais do país e interesses de grupos dominantes da época não eram grandes o suficiente para uma mobilização de recursos para o setor, o que manteve o crescimento do mesmo de forma lenta e inconstante. A construção naval nacional só ganharia forças para a constituição de um parque industrial na segunda metade do século 20, contando com o apoio e proteção governamental, que passaria a auxiliar com fortes políticas de impulso para esta industrialização. Em 1958, a Lei do Fundo de Marinha Mercante (FMM) conferiu fundos, regularizou a produção naval e estimulou a exportação de embarcações. Nos anos 70, com os Programas de Construção Naval (PCNs), foram ainda concedidos financiamentos e subsídios para armadores, levando a um grande desenvolvimento do setor. Com isso, surgiram oficialmente os primeiros estaleiros nacionais. Segundo D'AVILA & BRIDI (2017), com a crise econômica brasileira e elevada dívida externa nos anos 80, a indústria naval teve uma paralização em seu crescimento. No final da década de 90, com a promulgação da Lei do Petróleo, a indústria naval tomou novo fôlego devido à grande expansão na exploração do petróleo. Somente em 2005, porém, foi efetivamente reativada.

A Petrobras teve grande participação no crescimento do setor nessa época, elaborando e implementando programas que levaram a construção e modernização de 196 embarcações, das quais 146 estavam previstas de 2008 a 2016 para atuar em campos como o do pré-sal. O aumento da demanda de embarcações pela indústria petroleira levou a necessidade de investimento e modernização do setor. Assim, diversos grupos nacionais passaram a investir na construção de estaleiros. Em 2010 foi instalado no Rio Grande do Sul o Polo naval e Offshore, que se fortaleceu com a criação de um dique para construção e reparação de embarcações. Em 2014, quatro novas plataformas foram entregues, tendo grande importância na movimentação da economia e criação de novos postos de trabalho na região. Em 2005, havia 14.442 empregos, e houve um salto para 82.472 em 2014. A crise econômica impulsionada pela operação Lava Jato levou a um decréscimo da expansão da indústria naval entre os anos de 2015 a 2017, reduzindo a produção e número de postos de trabalho de forma drástica. Ainda assim, é um

setor que possui bastante força no país, devido necessidade da indústria petroleira e de combustíveis assim como o setor de exportação e importação das mais diversas indústrias (D'AVILA & BRIDI, 2017).

### 3.1.2 Cenário recente

Segundo o SINAVAL (2016) – Sindicato Nacional da Indústria da Construção e Reparação Naval e Offshore, o número de postos de trabalho nos estaleiros até meados de 2016 era de 43.745. A tabela abaixo mostra a evolução do número de empregos de 2007 a 2016, apresentando a queda a partir de 2015 devido à crise citada anteriormente.

**Tabela 1: Empregos nos estaleiros brasileiros durante os anos de 2007 até 2016**

Emprego nos estaleiros brasileiros junho de 2016										
Ano	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016*
Total	29124	33277	40500	56112	59167	62036	78136	82472	57048	43745
*Valores no final de cada ano, 2016 até junho										

Fonte: Adaptado de SINAVAL, julho de 2016.

Ainda de acordo com o SINAVAL, entre 2007 até 2016, 605 embarcações foram concluídas com auxílio de financiamento do Fundo da Marinha Mercante, que investiu cerca de 30 bilhões de reais neste projeto. Ainda, 12 novos estaleiros foram finalizados, mais de 80 mil empregos diretos e 400 mil indiretos criados, promovendo o desenvolvimento econômico das regiões envolvidas e a capacitação e qualificação da mão de obra da cadeia produtiva. Segundo dados do sindicato de 2018, a Petrobrás ainda é a principal demandante da indústria naval brasileira, mas importante também é a participação neste mercado, da Marinha Brasileira, já que a mesma tem necessidade de renovação de sua frota, que já possui mais de 30 anos. Neste momento há encomendas de submarinos e licitações voltadas à aquisição de outros tipos de embarcações. Importantes projetos que podem levar a uma retomada do crescimento industrial no setor naval.

### 3.2 A corrosão

Desde o início da história, os metais são utilizados pelo homem como objeto na busca pela evolução e progresso. Com o desenvolvimento da indústria, diversas ligas de aços foram criadas visando atender as mais diferentes atividades. A limitação deste uso, porém, está sobretudo

relacionada ao desgaste sofrido com o passar do tempo, problema denominado corrosão. Na indústria naval, especificamente, a corrosão é um dano estrutural observado de forma recorrente, e pode ser considerado o principal fator de danos e perdas de embarcações (RODRÍGUEZ, 2015).

Diante do problema em questão, foram desenvolvidos diversos métodos para proteger as superfícies metálicas contra o meio corrosivo. Atualmente, o principal é a aplicação de tintas protetoras especiais, que atuam como revestimentos isolantes, prolongando a vida útil das chapas dos navios (RODRÍGUEZ, 2015).

### **3.3 A proteção contra a corrosão**

Segundo PINHEIRO & SILVA, existem três tipos de revestimentos anticorrosivos: os metálicos, os inorgânicos e os orgânicos. Pode se definir estes como películas que, quando aplicadas sobre superfícies metálicas, dificultam a ação e o contato do meio corrosivo com essas superfícies.

A proteção anticorrosiva se dá por três diferentes formas, classificadas como:

- Barreira física, na qual a superfície é isolada pela tinta impermeável, impedindo o contato com o meio. A espessura da tinta aplicada e sua resistência ao meio possuem grande influência na eficiência desta.
- Passivação anódica, mecanismo no qual a tinta aplicada cria uma camada passiva que impede a corrosão do metal de base. Os principais inibidores são as tintas à base de cromatos e fosfatos de zinco.
- Proteção catódica, na qual a corrosão é controlada pela aplicação de tintas com grandes concentrações de pigmentos metálicos anódicos. O zinco é o principal pigmento utilizado como anodo misturado nas tintas especiais. (PINHEIRO & SILVA, 2015)

Para materiais confeccionados em aço-carbono, a utilização de tintas ricas em zinco (shop primer) apresenta mais de um mecanismo de proteção, diferente de tintas convencionais nas quais formam somente uma barreira física. O desempenho superior do shop primer se dá pela proteção catódica devido ao alto teor de pigmentos de zinco. Durante os últimos anos, tintas à base de resinas epóxi e silicatos, pigmentados com zinco, foram introduzidas no mercado, sendo utilizadas fortemente na indústria naval e se mostrando eficaz no papel anticorrosivo, além de possuir baixo impacto ambiental. (FRAGATA & ORDINE, 2009). A utilização do shop primer torna favorável o reparo de estruturas metálicas em campo, em situações de renovação ou

reforço do revestimento, devido a facilidade de aplicação quando comparado com outros processos de aplicação, como o de eletrodeposição ou galvanização. (GARCIA, 1999)

Quando o material revestido é exposto ao meio corrosivo, a grande diferença de potencial entre o zinco e o metal de base leva à corrosão preferencial do zinco, protegendo o substrato de aço. O contato entre os pigmentos de zinco e o substrato gera uma força eletromotriz, que induz uma corrente galvânica a fluir entre os mesmos. Portanto, para o mecanismo acontecer, é necessário que os pigmentos estejam conectados com o substrato. Por isso uma concentração mínima de zinco na tinta é necessária. Os primers conhecidos possuem cerca de 85 a 95% em peso de pó de zinco, dissolvidos nos ligantes de resina epóxi ou silicato. A espessura para o revestimento varia de 15 a 70 microns, dependendo do primer utilizado. A corrosão do zinco, que se dá de forma rápida devido à significativa diferença de potencial, promove a formação de uma camada contendo o produto da reação, diminuindo a área superficial ativa e tornando a proteção galvânica menos efetiva posteriormente (GARCIA, 1999). Dentre as características indispensáveis de um revestimento anticorrosivo, destacam-se: Ser quimicamente inerte; contínuo; aderente; possuir boas propriedades mecânicas; ter uma espessura conveniente; Impermeabilidade (PINHEIRO E SILVA, 2015).

### **3.4 Soldagem e corte na indústria naval**

Na indústria naval, os processos de soldagem e corte são os que mais consomem horas de mão-de-obra e representam a maior parte nos custos de manutenção, quando se trata de reparação de embarcações. Dentre os processos corte, os mais utilizados são o corte com maçarico (oxi-corte) manual ou automático, corte a laser e a plasma. Este último se destaca quando comparado com os outros, pelos fatores de:

- Aumento da produtividade;
- Redução de custos operacionais;
- Melhoria na superfície de corte;
- Redução dos impactos ambientais;
- Melhoria da segurança e higiene do ambiente de trabalho (GORDO, CARVALHO & SOARES, 2006).

### 3.5 Corte a plasma

#### 3.5.1 Definição

Dos diversos processos de soldagem, o TIG ou Gas Tungsten Arc Welding (GTAW), é uma técnica que, utilizando um eletrodo não consumível de tungstênio acoplado a uma tocha ligada a uma fonte, estabelece um arco elétrico para a fusão do metal-base a ser soldado. O arco elétrico é envolvido por um gás de proteção soprado pela tocha, que garante a sua estabilidade e evita a contaminação atmosférica do metal (BRACARENSE, 2000).

O processo de soldagem a plasma pode ser considerado um derivado do TIG, no qual o arco elétrico sofre uma constrição pela diminuição do diâmetro do bocal em que o gás passa, aumentando consideravelmente a intensidade da fonte de calor. (WAINER, BRANDI e MELLO, 1992).

A principal vantagem do processo é a estabilidade e foco do arco elétrico, que permite variações de distância da tocha sem sofrer mudanças significativas na sua capacidade de fundir o metal. Outra vantagem importante é a possibilidade da técnica do Key Hole, no qual a energia concentrada permite fundir e atravessar a peça, formando um pequeno buraco, evitando a necessidade de utilização de chanfros. (WAINER, BRANDI e MELLO, 1992).

O princípio de funcionamento do corte a plasma é o mesmo da soldagem a plasma e do Key Hole. Durante o processo, o gás soprado pela tocha é ionizado, e o arco elétrico é aberto entre a tocha e a peça, formando o jato de plasma. O formato da tocha permite a concentração da energia do plasma, que funde e atravessa o metal de base. O movimento relativo da tocha resulta no corte de peças metálicas de forma eficiente, com pequena ZTA (zona termicamente afetada) e com bom acabamento. (MARQUES, MODENESI e BRACARENSE, 2005).

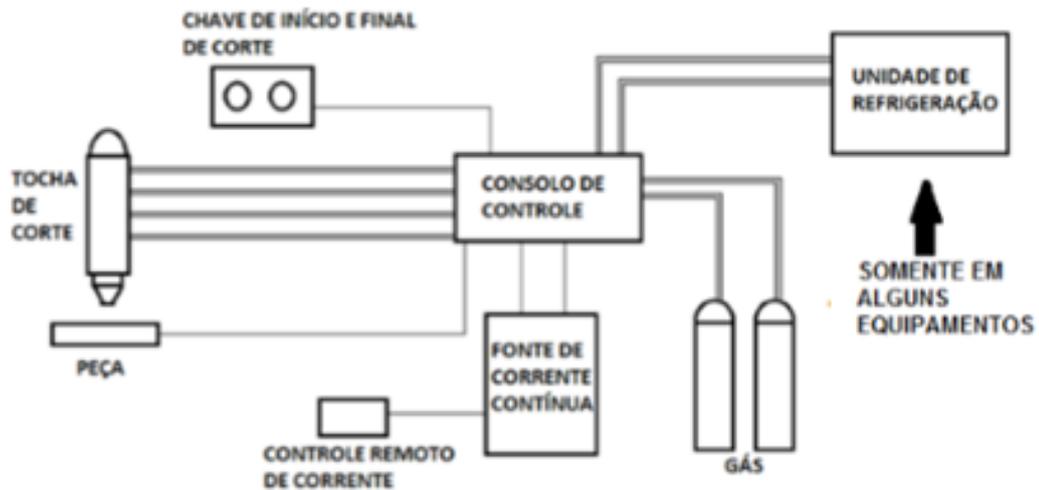
Criado na década de 50, o processo se tornou muito utilizado na indústria devido sua capacidade de cortar qualquer metal condutor de eletricidade, de espessura entre 3 e 40mm, de maneira rápida e eficaz, principalmente os metais não ferrosos que não podem ser cortados pelo processo oxi-corte, além de substituir processos mecânicos como corte por serras e prensas. (MARQUES, MODENESI e BRACARENSE, 2005).

#### 3.5.2 Equipamentos

A imagem abaixo ilustra os equipamentos básicos utilizados para o corte a plasma. Consiste em uma fonte de energia ligada por cabos elétricos a uma unidade de controle, que por sua vez está

conectado a uma tocha de corte. Cilindros de gases de plasma e proteção e um sistema de refrigeração de água também são conectados à unidade e à tocha por meio de mangueiras. (WAINER, BRANDI e MELLO, 1992).

**Figura 1: Esquema do equipamento de corte a plasma**



Fonte: Adaptado de (WAINER, BRANDI, & MELLO, 2010).

As fontes utilizadas apresentam tensão entre 240 e 400 V e corrente de saída varia de 70 a 1.000 A. Esses parâmetros são controlados de acordo com a tocha utilizada, o material a ser cortado e sua espessura, e a velocidade de corte. (MARQUES, MODENESI e BRACARENSE, 2005).

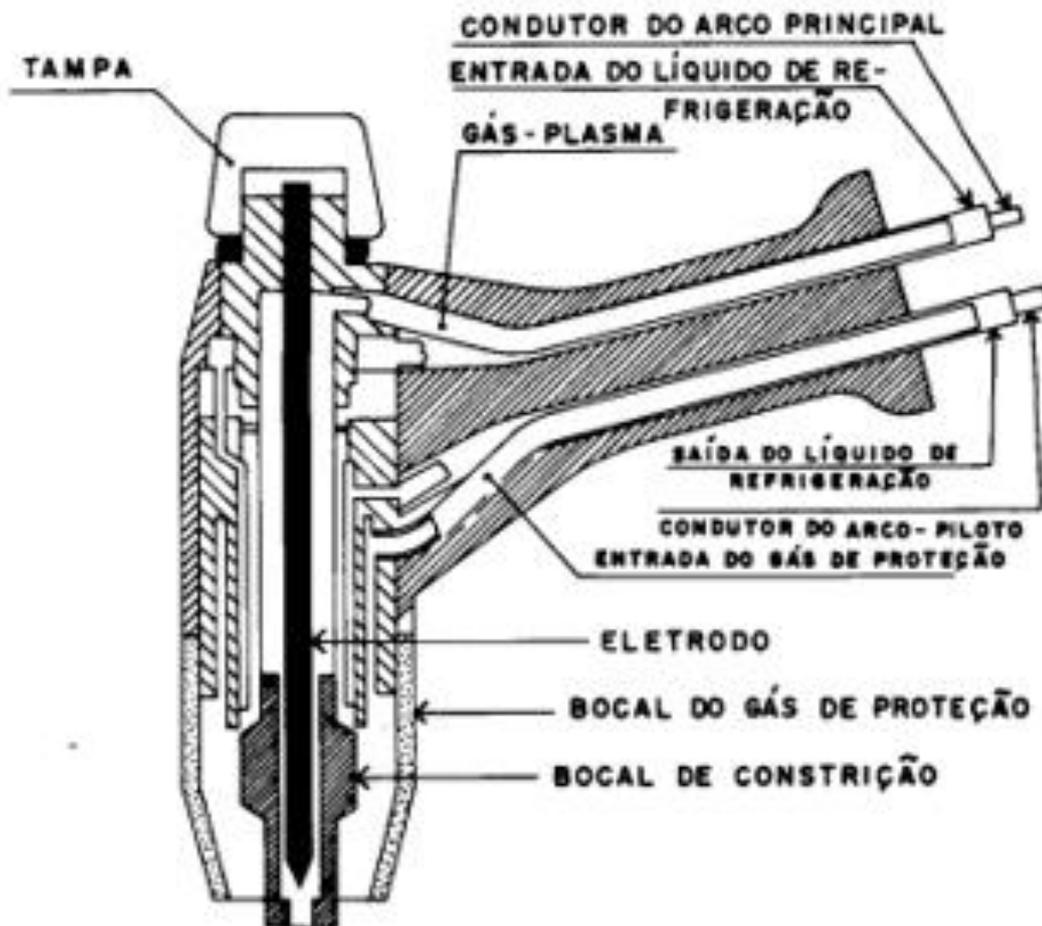
**Figura 2: Fonte Powermax 85**



Fonte: Manual de operações Hypertherm Powermax 85.

As tochas utilizadas apresentam um ou mais orifícios com diferentes diâmetros, que permitem a passagem de gases, fluxo de água do sistema de refrigeração, e acoplamento de um eletrodo no interior do bocal de constrição. Essa disposição do eletrodo e do bocal permite a obtenção de um arco elétrico de formato cilíndrico. Um esquema do interior da tocha de corte é demonstrado na figura 3 abaixo. (WAINER, BRANDI e MELLO, 1992).

**Figura 3: Esquema de uma tocha de corte a plasma**



Fonte: Adaptado de (WAINER, BRANDI, & MELLO, 2010).

Para o processo, são utilizados gases de plasma que protegem o eletrodo e o metal de base do meio externo. Além disso, eles possuem baixo potencial de ionização, que facilita a abertura e estabilidade do arco elétrico. O gás de plasma deve ser inerte ao eletrodo de tungstênio e ao bocal da tocha para diminuir o desgaste dos mesmos. Utiliza-se normalmente argônio, hélio, nitrogênio ou a mistura destes. (MARQUES, MODENESI e BRACARENSE, 2005).

### 3.5.3 Segurança na soldagem/corte

Os riscos envolvidos nas práticas e operações que envolvem a soldagem e corte são numerosos, e podem provocar acidentes pessoais, danos a equipamentos e instalações. Por isso é de extrema importância conhecê-los, saber como evitá-los e como agir em caso de acidentes. Os principais riscos incluem a possibilidade de choques elétricos, incêndio e explosões, exposição à radiação gerada pelo arco elétrico e aos fumos e gases prejudiciais à saúde.

Com o objetivo de diminuir os riscos de acidente, todo procedimento de soldagem e corte deve ser feito utilizando equipamentos de proteção individual, que consistem em roupas de raspa de couro – luvas, aventais, protetores para braços e pernas – capacete de proteção com visor protetor, óculos de segurança e botas de couro.

Deve, ainda, ser utilizado o bom senso para agir em situações adversas, seguindo as regras e etapas padronizadas visando mitigar os possíveis riscos e quaisquer eventuais acidentes que possam ocorrer. Todo procedimento deve ser feito com atenção e alerta.

### 3.5.4 Técnica operatória e variáveis do processo

Os procedimentos para o corte a plasma consistem no ajuste dos parâmetros operacionais, seguidos da abertura do arco elétrico e deslocamento da tocha ao longo da linha de corte. O fim do procedimento se dá com o desligamento da tocha e extinção do arco. As variáveis mais importantes a serem ajustadas são: corrente, velocidade de corte, fluxo de gás e distância entre a peça e o bocal. São controladas de acordo com a composição do material e a espessura a ser cortada. A distância entre o bocal e a peça a ser cortada varia em torno de 1 a 16mm. A tabela 1 a seguir mostra os parâmetros típicos para corte de materiais de diferente composição e espessura. (MARQUES, MODENESI e BRACARENSE, 2005).

**Tabela 2: Parâmetros de corte a plasma para alumínio e aços inoxidável e ao carbono.**

Parâmetros típicos de corte a plasma				
Material	Espessura (mm)	Diâmetro do orifício (mm)	Corrente (A)	Velocidade de corte (mm/s)
Alumínio	6	3,2	300	127
	13	3,2	250	86
	25	4	400	38
	51	4	400	9
	102	4,8	450	5
Aço Inoxidável	6	3,2	300	86
	13	3,2	300	42
	25	4	400	21
	51	4,8	500	9
	102	4,8	500	3
Aço carbono	6	3,2	275	86
	13	3,2	275	42
	25	4	425	21
	51	4,8	550	11

Fonte: Adaptado de (MARQUES, MODENESI e BRACARENSE, 2005).

De acordo com o manual de operações do equipamento Powermax 85 da Hypertherm, que será utilizado nesse trabalho, para determinada corrente, espessura da peça e composição do metal-base, existem dois diferentes parâmetros de velocidade tensão para a operação. Um deles utiliza tensões ligeiramente mais elevadas e velocidades de corte menores, que garantem uma maior qualidade no corte. O outro, com a tensão um pouco menor e a velocidade de corte aumentada, garante uma maior produtividade, se preocupando menos com o acabamento. Esses parâmetros são apresentados na tabela 3 abaixo, para diferentes valores de espessura de aços baixo de carbono.

**Tabela 3: Parâmetros de corte a plasma para alumínio e Aços Inoxidável e ao carbono.**

Powermax 85A					
Aços de baixo carbono		Parâmetros para qualidade no corte		Parâmetros para produção	
Espessura (mm)	Distância da tocha (mm)	Velocidade de corte (mm/min)	Tensão (v)	Velocidade de corte (mm/min)	Tensão (v)
3	1,5	6800	122	9200	120
4		5650	122	7300	122
6		3600	123	4400	125
8		2500	125	3100	127
10		1680	127	2070	128
12		1280	130	160	130
16		870	134	930	133
20		570	137	680	136
25		350	142	450	141
30		200	146	300	144

Fonte: Hyperterm (2018)

### 3.5.5 Qualidade do corte plasma

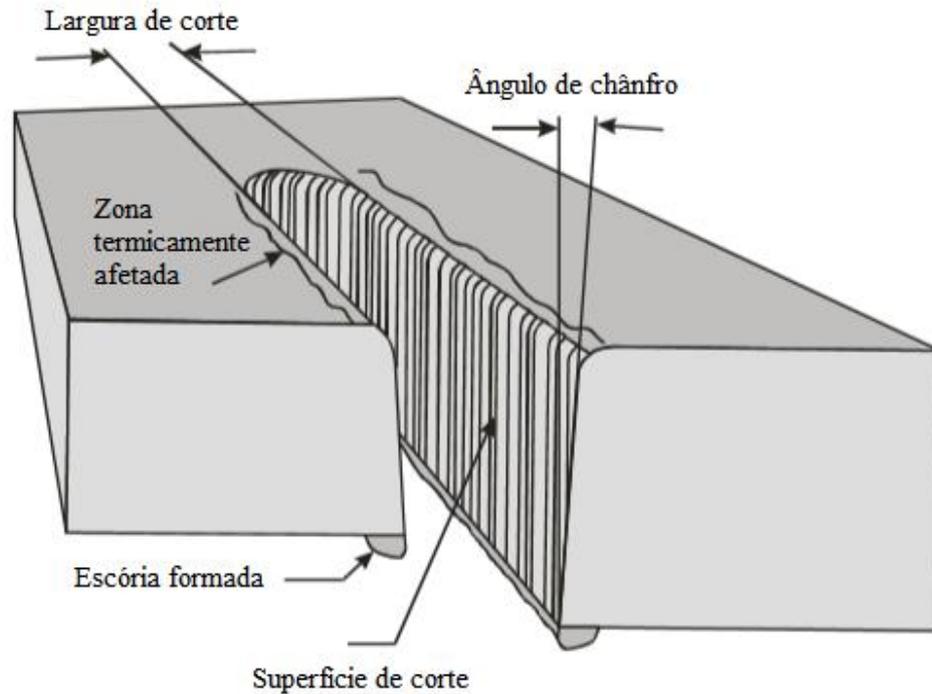
Segundo NEDIĆ et al., a qualidade do corte a plasma é definida por parâmetros de entrada, como corrente, velocidade de corte e outros citados anteriormente, e parâmetros de saída, que envolvem as características resultantes do corte ao se utilizar parâmetros de entrada específicos. São eles:

- Rugosidade das superfícies obtidas;
- Ângulo de corte chanfrado e de arraste;
- Formação de escória;
- Espessura da zona termicamente afetada;
- Derretimento da borda superior;
- Estabilidade do corte;
- Largura do corte.

A figura 4 abaixo apresenta um esquema com algumas regiões formadas durante o corte, com características relacionadas com os parâmetros de corte. A rugosidade obtida está relacionada principalmente com a velocidade de corte, espessura do material, corrente utilizada e estabilidade do processo. Os ângulos formados pelo arraste estão relacionados com a velocidade de corte. Altas velocidades apresentam ângulos de arraste entre 60 e 80°, levam a formação de escória na parte inferior da peça (rebarbas) e pequena largura de corte. Velocidades

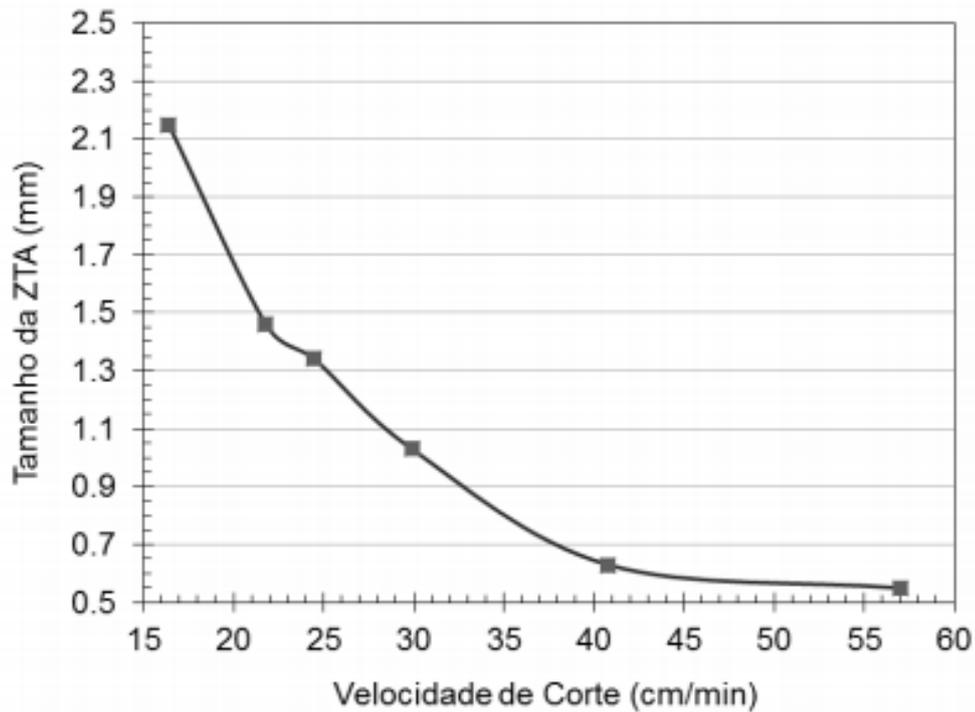
extremamente baixas e/ou elevada corrente podem levar a derretimento da borda superior, maior largura de corte e espessura da zona termicamente afetada, e extinção do arco (instabilidade do corte).

**Figura 4: Esquema de uma peça cortada e suas regiões.**



Fonte: adaptado de (NEDIĆ et al. 2013).

Segundo FERREIRA (2017) a velocidade de corte está relacionada com a espessura da zona termicamente afetada (ZTA). Quando maior a velocidade, menor a espessura, pois cortes mais rápidos transferem menos energia para a peça, diminuindo a região afetada. Essa região deve ser minimizada para se diminuir a descontinuidade estrutural do metal base, região que apresenta características mecânicas geralmente inferiores das regiões não afetadas. A figura 5 abaixo apresenta um gráfico obtido experimentalmente no trabalho da autora, corroborando com a afirmação. Foi mantida a corrente de 48 Ampères.

**Gráfico 1: Tamanho da ZTA em função da velocidade de corte.**

Fonte: FERREIRA (2017)

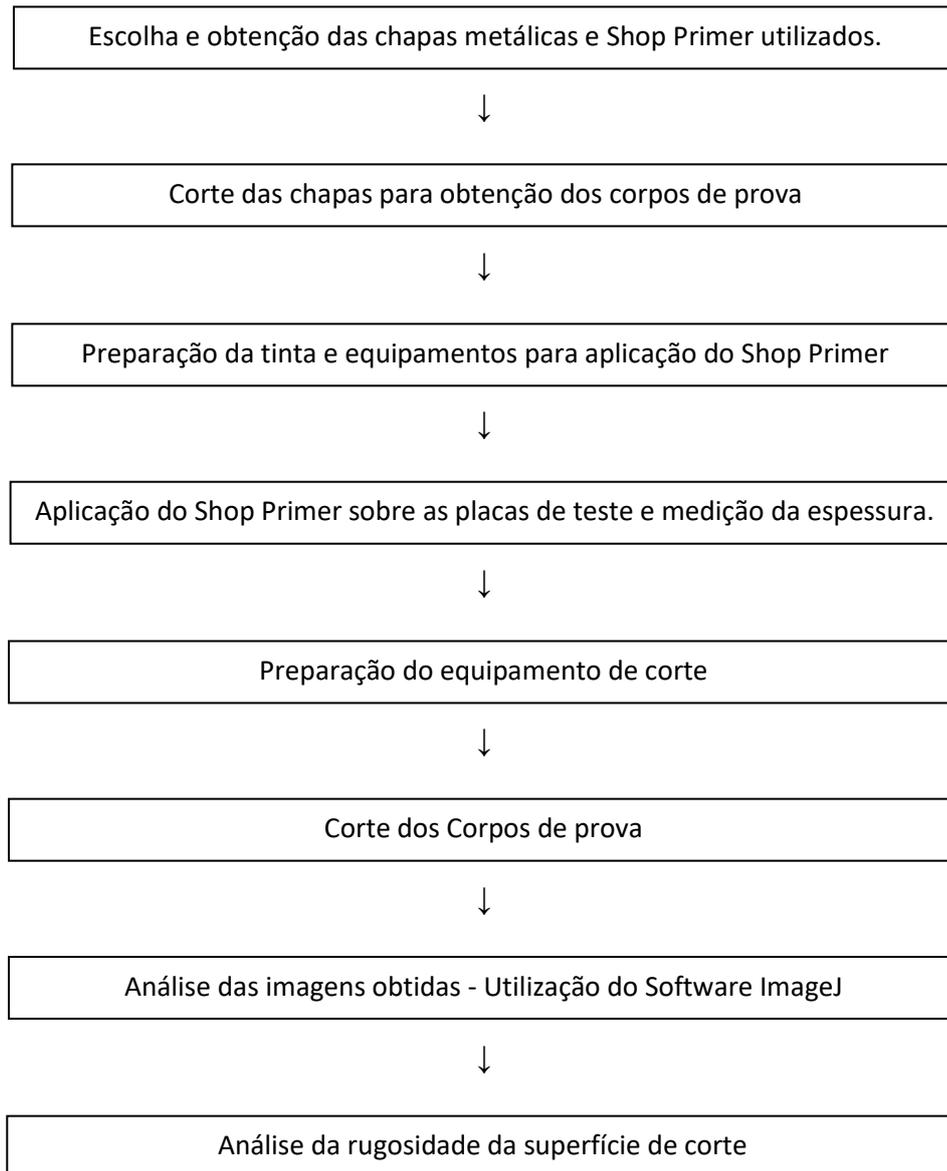
Outra característica bastante significativa na qualidade do corte é a rugosidade da superfície do corte. Essa irregularidade, quando elevada, caracteriza um pior acabamento da superfície, podendo levar a fragilidade da região e quebra facilitada do componente. Por isso, minimizar a rugosidade da superfície leva a um melhor acabamento e uma peça com maior resistência a fratura (BHUVENESH et al. 2012). Os parâmetros de velocidade de corte, corrente e distância da tocha afetam diretamente a rugosidade, e a utilização de parâmetros ótimos de corte tendem a minimizá-la, aumentando a qualidade do acabamento. Para a análise da rugosidade, o parâmetro Ra é definido como a média aritmética das dimensões dos picos e vales da superfície. O parâmetro é o mais utilizado para análise de rugosidade, e confere boa descrição da característica da superfície analisada (TSIOLIKAS et al. 2016).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Características do trabalho desenvolvido

A figura 5 abaixo apresenta o fluxograma com as etapas da parte experimental deste trabalho.

**Figura 5: Fluxograma da parte experimental.**



## 4.2 Materiais

Para a confecção dos corpos de prova, foram utilizadas chapas de aço ASTM A36, de dimensões 300mm x 150 mm x 19mm. O revestimento shop primer utilizado foi fornecido pela empresa International, que disponibilizou o material composto pelo primer e solvente. Utilizou-se uma pistola de ar comprimido acoplada a um carro elétrico sobre um trilho para a aplicação do primer, e um suporte metálico para posicionamento dos corpos de prova na frente da pistola. Para o corte, por sua vez, foram utilizados uma fonte inversora de corte a plasma Powermax 85 com capacidade de 85A, uma bancada de apoio com um trilho para utilização da tartaruga, um suporte para a tocha do equipamento de corte e a pistola de tinta para padronizar a operação. Algumas ferramentas foram utilizadas para auxiliar a operação, tais como duas chapas de aço para apoio e um sargento para fixação dos corpos de prova.

Para os registros e análise dos resultados, foram utilizados uma escala e um paquímetro, um medidor de espessura DCFN 3000FX, da Checkline, com capacidade de medição 0 a 1500 $\mu$ m uma câmera GOPRO 3+ para filmagem e registro de imagens, e um rugosímetro Rugosurf 20 da TESA, com capacidade de medição de até 400 $\mu$ m.

## 4.3 Métodos

### 4.3.1 Preparação dos corpos de prova

A preparação dos corpos de prova (CPs) foi feita em duas etapas: corte das chapas de aço e aplicação do primer. O corte foi realizado para a redução do tamanho das chapas de aço de 300mm x 150mm em chapas menores de 100mm x 75mm. Na etapa de aplicação do primer, o objetivo foi obter uma camada de revestimento homogênea ao longo de um dos eixos da superfície, mesmo eixo que posteriormente seriam feitos os cortes a plasma para teste. Para obtenção de camadas de espessuras diferentes, foram aplicadas a cada três CPs, 0, 1, 2 e 3 demãos de tinta.

### 4.3.2 Operação de corte

As chapas de aço foram marcadas com a utilização de lápis e escala. Foram tracejadas uma linha central no eixo X e duas linhas no eixo Y de forma a dividir as áreas em tamanhos iguais. Em seguida, preparou-se o equipamento de corte a plasma, ajustando a corrente para 85 A.

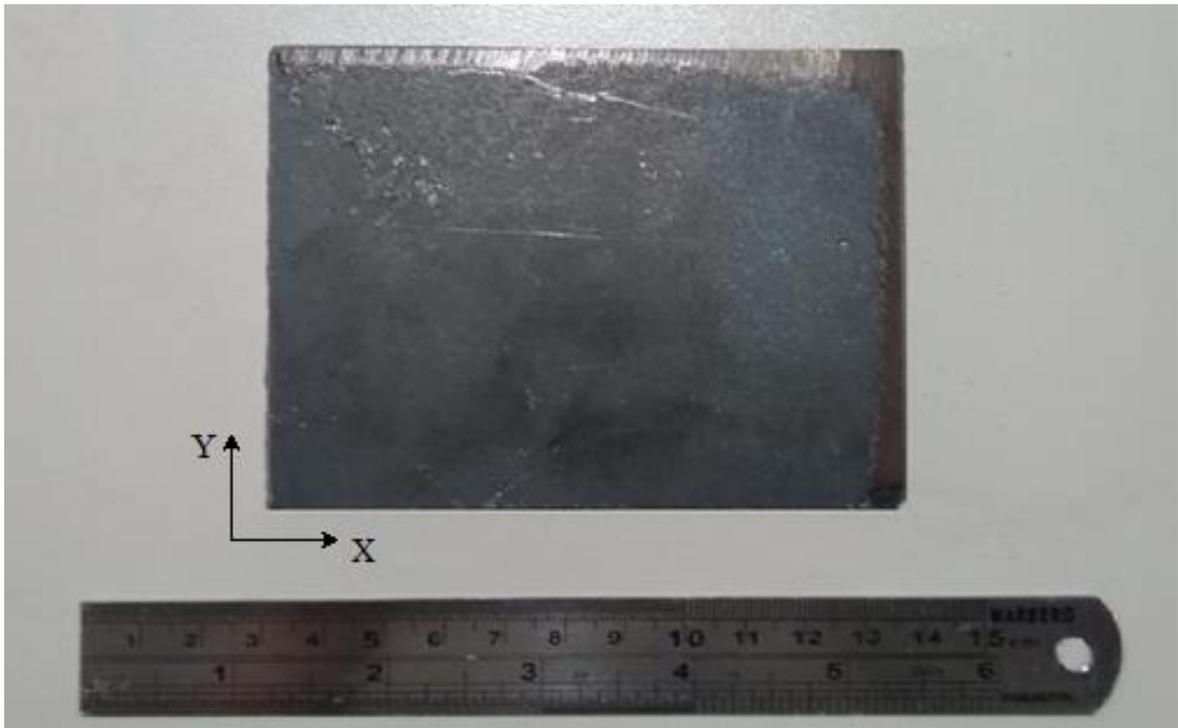
Com o equipamento preparado e a chapa marcada, foi feita a operação de corte. Utilizou-se uma outra chapa como escala, colocando sua extremidade sobre as linhas marcadas na chapa principal, garantindo assim que a tocha cortasse os corpos de prova exatamente na marcação. Assim, foram obtidos seis CPs de cada uma das chapas, totalizando em doze CPs para o experimento. A figura 6 abaixo apresenta os corpos de provas cortados a partir da chapa, assim como a marcação do eixo X e Y dos CPs, mostrado na figura 7, seguinte.

**Figura 6: Corpos de prova obtidos a partir de uma das chapas de aço.**



Fonte: Próprio autor

**Figura 7: Corpo de prova com marcação dos eixos X e Y.**



Fonte: Próprio autor

#### 4.3.3 Padronização da operação de deposição do primer

Para a aplicação do primer sobre os corpos de prova, primeiro foi necessário fazer uma análise da operação de aplicação para avaliar a espessura da camada depositada, e se a mesma se mantinha constante ao longo do eixo X. Para isso utilizou-se uma chapa de teste.

O primeiro passo foi a retirada da camada externa de óxido e impurezas através do método de jateamento de areia. O equipamento utilizado para o jateamento utiliza sopro de ar pressurizado que passa por uma mangueira juntamente com uma areia bem fina. A areia é arrastada juntamente com o ar e soprada com bastante intensidade na chapa, removendo a camada superficial indesejada. A figura 8 abaixo apresenta a chapa após jateamento.

**Figura 8: Chapa após jateamento**

Fonte: Próprio autor

Em seguida, com o auxílio de uma escala, mediu-se a espessura da camada superficial da chapa utilizando um medidor de espessura. Tais medidas foram feitas ao longo do eixo X, nas marcas de 5, 10, 15, 15 e 20cm, na linha média da chapa de  $Y = 13/2\text{cm}$ . O objetivo dessa medição prévia de espessura é subtrair o valor encontrado do obtido após a aplicação do primer, pois a sensibilidade do equipamento de medição faz com que a rugosidade da superfície do material influencie na medida.

O primer foi preparado na proporção de duas medidas em peso de primer puro para três medidas de seu solvente, de acordo com as especificações do fabricante. Para tal, colocou-se 140g de primer puro em um recipiente, com o auxílio de uma balança, e misturou-se 210g de solvente até a obtenção de um produto homogêneo.

Em seguida, preparou-se o equipamento para aplicação do primer ajustando-se a velocidade da tartaruga para 100cm/min. A figura 9 mostra a montagem preparada para o procedimento.

**Figura 9: Equipamento preparado para a aplicação do primer sobre a chapa.**



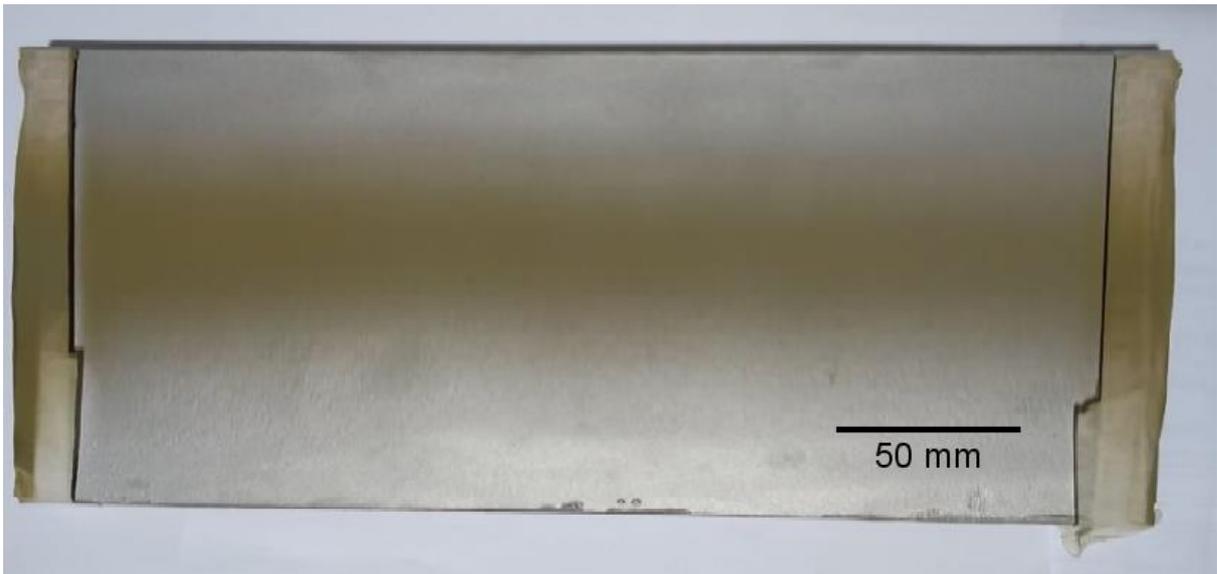
Fonte: Próprio autor

Com tudo preparado, foi feita a aplicação do primer sobre a chapa. O acionamento do gatilho da pistola foi feito de forma manual. Depois da aplicação, esperou-se 15 minutos para o primer secar.

Assim, foi feita a medição da espessura da camada depositada. Para tal, foram feitas as medições nos mesmos pontos centrais da medição prévia. Subtraíram-se os valores de espessura obtidos previamente dos valores encontrados após a aplicação.

Como os valores das espessuras obtidas foram significativamente menores que  $15\mu\text{m}$ , repetiu-se o procedimento do outro lado da chapa. Dessa vez, liberou-se mais um pouco a pressão das válvulas de ar e tinta da pistola. A figura 10 abaixo apresenta a chapa após a segunda aplicação do primer. As medidas obtidas nessa segunda aplicação estão descritas na tabela 5 nos anexos, e no gráfico 2, na seção 5.1 dos resultados. Pôde-se observar que os valores encontrados estavam próximos de  $15\mu\text{m}$ , mantendo-se constantes. Assim, o procedimento estava pronto para a aplicação do primer nos CPs.

**Figura 10: Chapa de aço após segundo teste de aplicação do Shop primer .**

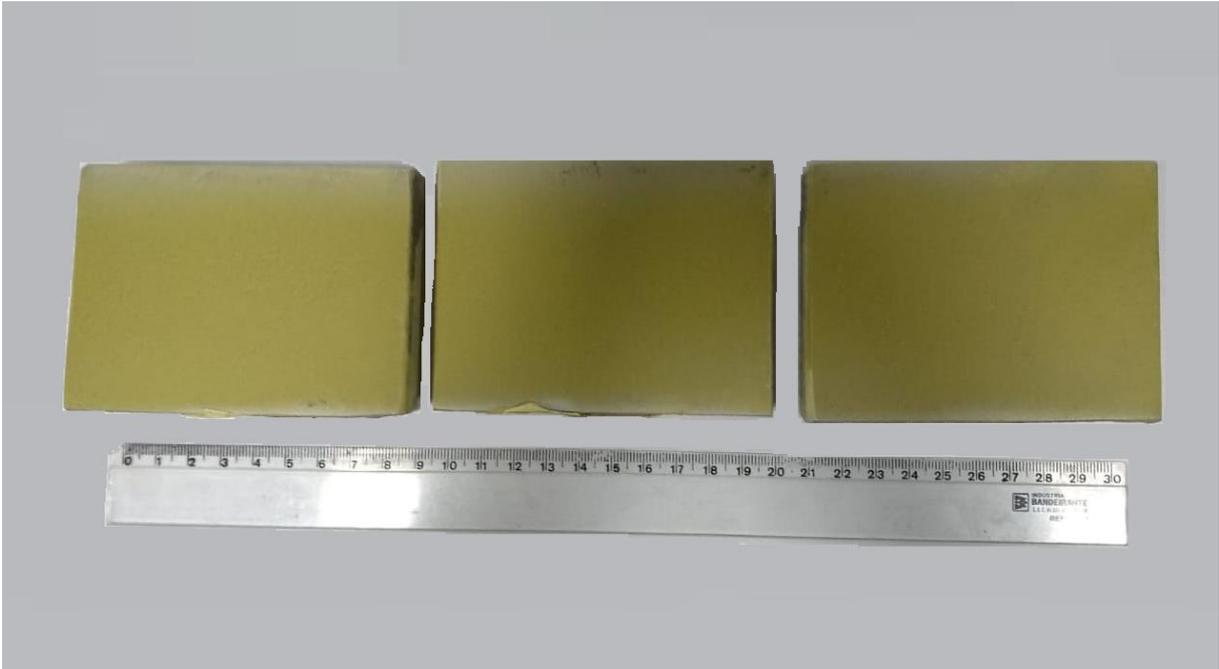


Fonte: Próprio autor.

#### 4.3.4 Aplicação do primer

O mesmo procedimento, executado anteriormente como teste, foi executado para a aplicação do primer sobre os CPs. Os mesmos foram jateados previamente, e mediu-se a espessura da camada superficial utilizando o aparelho X. Para isso, utilizou-se uma escala para medir os pontos médios dos CPs ( $Y=3,75$ ) e medir as espessuras nos pontos  $X=2, 4, 6$  e  $8\text{cm}$ . Em seguida os CPs foram colocados em trios no suporte e o processo de aplicação do revestimento foi executado. Os CPs 1, 2 e 3 seriam utilizados como grupo controle posteriormente neste trabalho, não se aplicando o primer em sua superfície. Cada camada de revestimento foi aplicada pela pistola acionada com o deslocamento do carro do ponto inicial até o ponto final do trilho. Assim, foram aplicadas uma camada de primer nos CPs 4, 5 e 6, duas camadas nos CPs 7, 8 e 9, e três camadas nos CPs 10, 11 e 12. A figura 11 abaixo apresenta os CPs 4, 5 e 6 após aplicação de uma camada do shop primer.

**Figura 11: Corpos de prova 4, 5 e 6 após aplicação do primer.**



Fonte: Próprio autor.

Após aplicação e secagem, foram retiradas novas medidas das espessuras nos mesmos pontos de cada CP. Calculou-se a média da espessura de cada ponto, e subtraiu o resultado obtido pelo valor encontrado antes da aplicação do primer, no mesmo ponto. Assim, obteve-se a espessura real da camada aplicada, e os valores estão apresentados na tabela 7 nos anexos, e no gráfico 3 da seção 5.2 dos resultados. Com os valores de espessura padronizados e crescentes de acordo com o número de camadas aplicadas, pôde-se avançar para a etapa de corte dos CPs.

#### 4.3.5 Operação de corte

Para a o corte dos corpos de prova, primeiro preparou-se o equipamento. A mesa foi posicionada em frente ao trilho da tartaruga, uma chapa metálica foi usada de apoio para os corpos de prova, posicionando o primeiro corpo de prova com seu eixo X perpendicular ao eixo do trilho, preso a chapa suporte com o auxílio de um sargento.

A tartaruga foi utilizada para mecanizar a operação, podendo assim controlar a velocidade de corte e distância entre o eletrodo e a peça. Observando a tabela 3 da seção 3.5.4 deste trabalho, retirada do manual de operação do equipamento de corte, utilizou-se parâmetros que garantissem boa qualidade no corte para o material utilizado, com as dimensões observadas. Para os CPs de espessura de 19mm de aço ASTM A36, de acordo com esta tabela, para 85A, a

velocidade ideal de corte seria a de 570 mm/min. Assim, calculou-se o tempo necessário para a tocha acoplada ao carro suporte atravessar a chapa de 100mm, que seriam 10,5 segundos, e ajustou-se a velocidade do carro para tal, com o auxílio de um cronômetro. Com isso, garantiu-se a padronização da velocidade ideal de corte. Uma câmera foi posicionada para filmar a operação. A figura 12 abaixo apresenta um quadro da filmagem do corte.

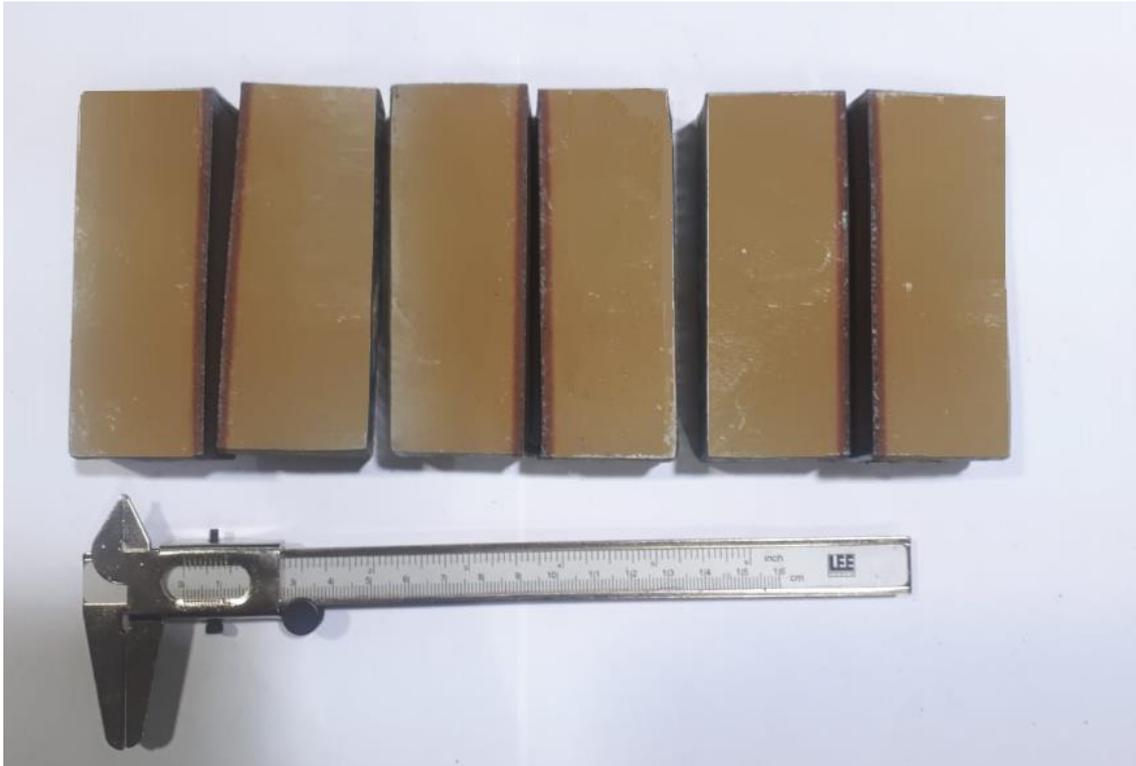
**Figura 12: Quadro da filmagem do corte**



Fonte: Próprio autor

Com o equipamento preparado, e o CP1 posicionado, pôde se dar início ao processo. Em seguida, trocou-se o corpo de prova para o CP2, e o processo se repetiu. Dessa forma, os CPs foram posicionados e cortados um a um, e ao final, foram registrados por fotos para análise dos resultados. A figura 13 abaixo mostra 3 dos corpos de prova cortados, os CPs 4, 5 e 6.

**Figura 13: CPs 4, 5 e 6 após o corte**



Fonte: Próprio Autor.

#### 4.3.6 Análise dos resultados

Os resultados foram analisados de duas formas diferentes. Primeiramente foi feito um estudo das superfícies dos corpos de prova, a partir de fotos registradas após a operação de corte. Utilizou-se o software de análise de imagens ImageJ na tentativa de observar características e padrões nos corpos de prova cortados. O software permite medir áreas, distâncias e ângulos com boa exatidão a partir da calibração do mesmo utilizando distâncias conhecidas das imagens. Na segunda análise, as rugosidades das superfícies de corte dos CPs seriam avaliadas e comparadas.

Para a primeira análise, selecionou-se uma foto de uma série de tiradas de cada corpo de prova, de uma série tiradas, que possuísse a melhor qualidade e foco. Em seguida, a foto foi aberta dentro do software Image J. O paquímetro utilizado como escala nas imagens foi considerado para ser feita a calibração do programa. Primeiro, traçou-se uma linha entre a marcação de 1 e 2 centímetros do paquímetro da foto, e calibrou-se essa distância em pixels com a distância real do paquímetro, de 10mm. Assim, contornaram-se as áreas de queima e mediu-se o comprimento do CP. Para calcular a espessura média da queima, a área encontrada foi dividida pelo comprimento obtido. Em seguida, a partir de fotos da superfície de queima, mediu-se o número e ângulo das linhas de corte. As figuras 14a e 14b mostram um dos corpos de prova sendo analisado no software. A região de queima está contornada de amarelo e foi considerada como região superior, da metade de cima do CP, e inferior, da metade de baixo. O procedimento foi executado para os 12 CPs, e os resultados estão apresentados na tabela 8, dos anexos, e no gráfico 4, na seção 5.3.1 dos Resultados e Discussão.

**Figura 14: Análise da área do CP1 através do programa ImageJ e b) análise do ângulo de arraste formado nas linhas de corte do CP6.**

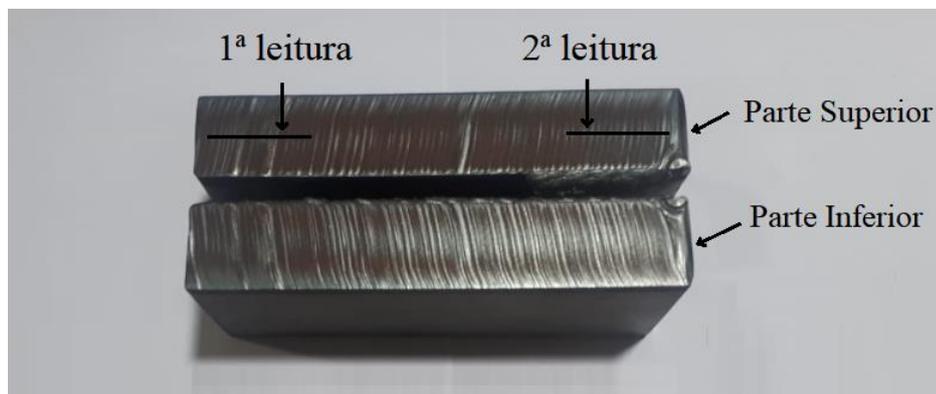


Fonte: Próprio Autor.

Para a análise da rugosidade da superfície de corte, utilizou-se um rugosímetro. O equipamento é capaz de detectar picos e vales de uma superfície até a escala nanométrica. Primeiro, calibrrou-se o equipamento utilizando padrões para calibração. Em seguida, o mesmo foi posicionado

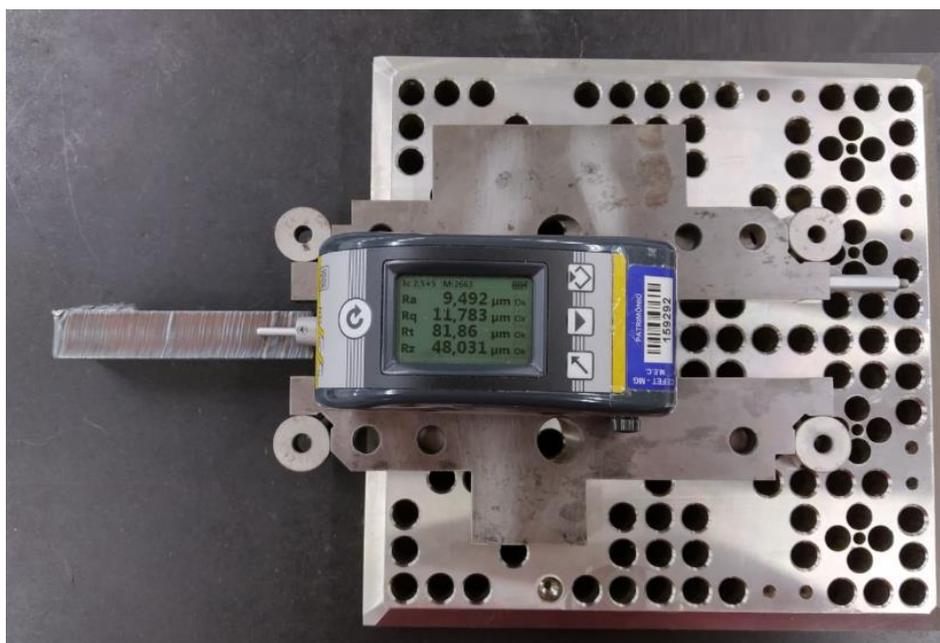
sobre peças metálicas planas utilizadas como apoio, em uma mesa plana. Com isso, foram posicionadas as metades de cada corpo de prova uma a uma, para que o equipamento fizesse a leitura da rugosidade bem no meio da superfície. Foram tiradas duas medidas de cada metade dos corpos de prova. A distância percorrida para análise pelo aparelho foi de 25mm, começando de  $x=30\text{mm}$  até  $x=5\text{mm}$  para a primeira leitura. Em seguida virou-se a peça, de forma que a medida fosse feita no outro lado da superfície, de  $x=70\text{mm}$  até  $x=95\text{mm}$ . A figura 15 abaixo mostra a superfície medida, e os locais de medição. Em seguida, a figura 16 apresenta a foto do equipamento tirando as medições do CP1. Os valores para rugosidade média  $R_a$  obtidos estão apresentados na tabela 9 nos anexos, e nos gráficos 6 e 7 da seção 5.3.2 dos resultados e discussão.

**Figura 15: Superfícies analisadas pelo rugosímetro.**



Fonte: Próprio autor.

**Figura 16: Equipamento em análise da rugosidade.**



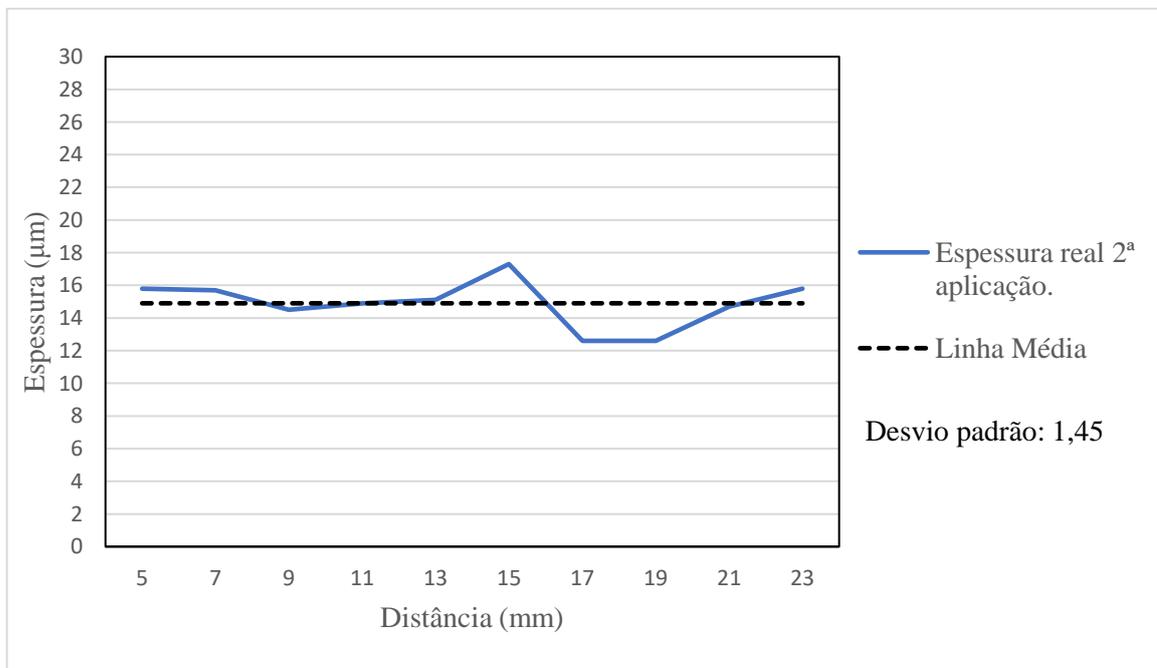
Fonte: Próprio autor.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Aplicação do primer na chapa teste

As medições de espessura da chapa retiradas antes (Espessura inicial) e depois (Espessura 1ª aplicação) da aplicação do primer estão descritas na tabela 4 nos anexos. A subtração das mesmas foi feita para obtenção do valor real de espessura. Após o primeiro teste, a espessura da camada depositada foi inferior a 15µm, recomendado pelo fabricante do primer. Por isso, foi necessário o ajuste da pistola de aplicação do primer. Após tal ajuste e o segundo teste feito, as novas medidas de espessura foram tiradas e estão apresentadas na tabela 5, nos anexos, e a partir da mesma, o gráfico 2 abaixo apresenta esses valores. Com essa nova regulagem da pistola, foi possível obter um valor de espessura que se aproxima da utilizada na prática para operações de pintura de chapas com Shop-primer. Além disso, conforme observado no gráfico, pôde-se perceber que o valor dessa espessura sofreu pouca variação ao longo do eixo X, o que garantiu a padronização do procedimento.

**Gráfico 2: Espessura Real da camada de primer na chapa teste após segunda aplicação, ao longo do eixo X.**

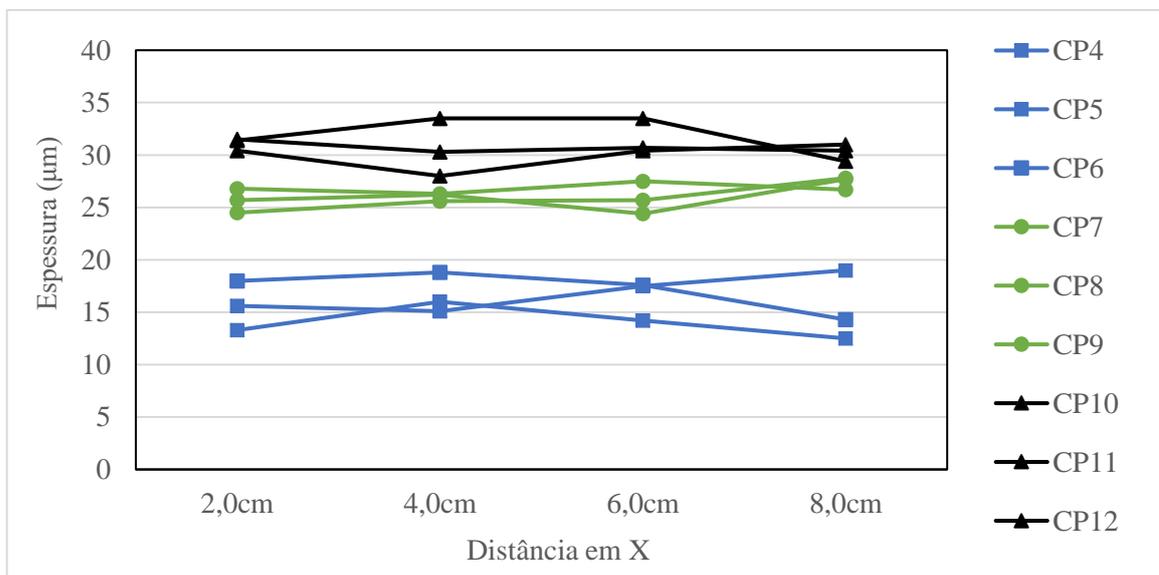


## 5.2 Aplicação do primer nos corpos de prova

A tabela 6 abaixo apresenta as medidas de espessura ao longo do eixo X nas distâncias descritas, dos corpos de prova sem aplicação do primer. Pode se observar que os valores são diferentes de zero. O objetivo dessa medição prévia é a subtração posterior desses valores pelos obtidos após a aplicação do primer, nos mesmos pontos.

Os resultados para a espessura dos CPs antes da aplicação do primer, estão apresentados na tabela 6, na parte dos anexos. Ainda no mesmo local, a tabela 7 apresenta os valores encontrados após a aplicação do primer, subtraídos dos obtidos na tabela 6, indicando assim, a espessura real encontrada para a camada de primer depositada sobre cada CP. O gráfico 3 abaixo foi obtido a partir dos valores da tabela 7 dos anexos, apresentando a espessura dos CPs com diferentes camadas, ao longo do eixo X. Para os CPs 4, 5 e 6, com uma demão de tinta, a espessura apresentou valores próximos à 15 $\mu\text{m}$ . Para os CPs 7, 8 e 9, com duas demãos, o valor foi próximo de 26 $\mu\text{m}$ . Para os CPs 10, 11 e 12, com três demãos de tinta, obtiveram espessura em torno de 31 $\mu\text{m}$ . Observou-se assim, valores crescentes a medida em que foram se aplicando mais demãos de tinta. Além disso, os valores mantiveram-se dentro da faixa descrita como ideal para revestimentos de shop primer a base de Silicato de zinco, de acordo com as recomendações do fabricante da tinta. Assim, poderá ser avaliada a influência de camadas mais finas e mais espessas de primer no processo de corte.

**Gráfico 3: Espessura da superfície dos CPs ao longo do eixo X.**

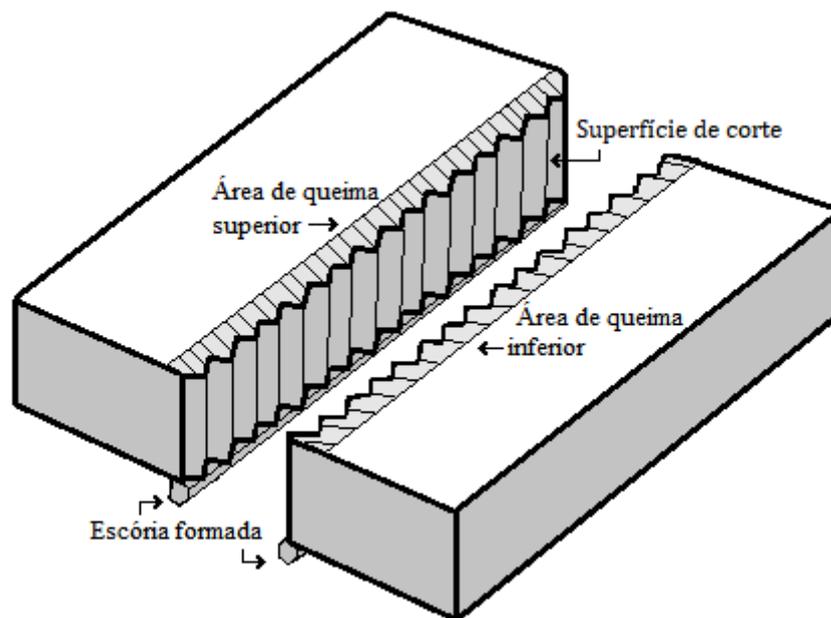


### 5.3 Avaliação dos corpos de prova cortados

Uma vez utilizados os parâmetros de corte definidos como ótimos, conforme apresentado na seção 3.5.4 desse trabalho, pode-se comparar os resultados obtidos para os CPs sem aplicação do Shop Primer com os CPs com diferentes espessuras de camadas do revestimento.

A figura 17 a seguir apresenta um esquema do corpo de prova cortado, assim como as regiões analisadas nesse trabalho. A seguir, são apresentadas as comparações dos CPs estudados, analisando espessura da região de queima, escória inferior formada, ângulo de arraste formado pelas linhas de corte e rugosidade na superfície de corte

**Figura 17: Esquema do corpo de prova cortado, com regiões descritas.**



Fonte: Próprio autor.

#### 5.3.1 Análise por software da espessura da ZTA e ângulo de arraste

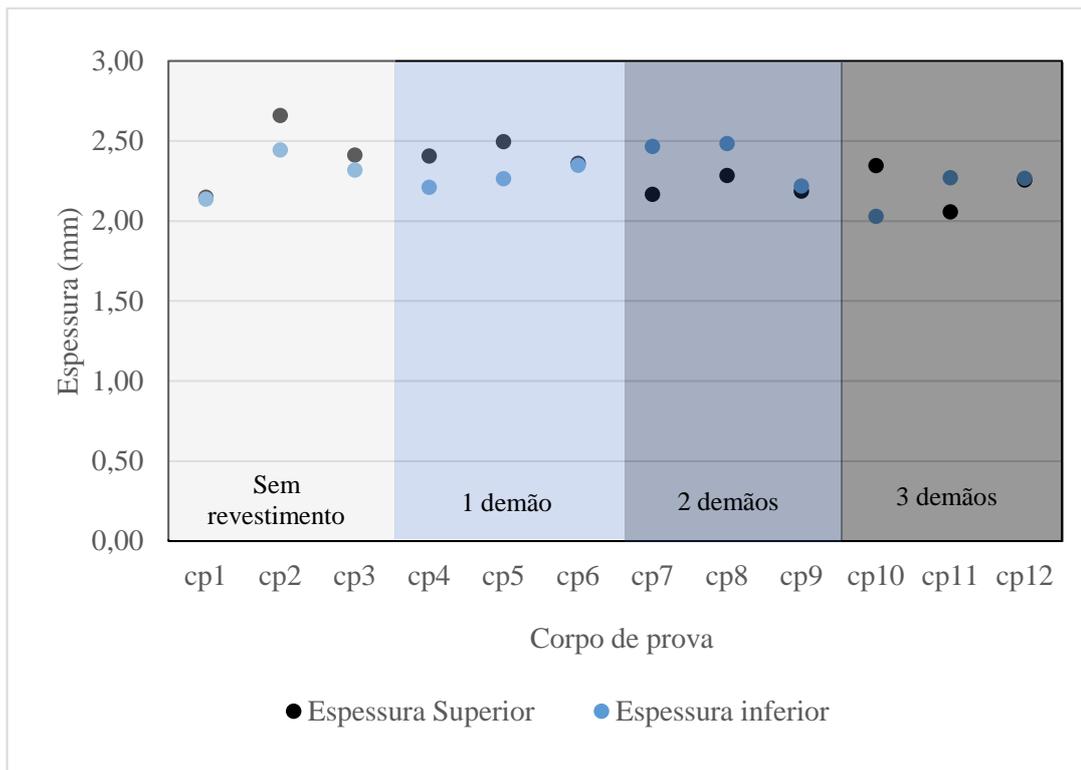
Os valores de espessura de queima e ângulo das linhas de corte dos corpos de prova analisados estão descritos na tabela 8, nos anexos. A partir dessa tabela, foram obtidos os gráficos 4 e 5 abaixo. O primeiro apresenta os valores de espessura da região de queima, em milímetros, para cada CP. O segundo mostra o ângulo de arraste médio observado pelo software.

Os valores obtidos para a espessura da região de queima (média de 2,315 e 2,288mm) foram consideravelmente maiores que valores obtidos em literatura para a velocidade de 570mm/min,

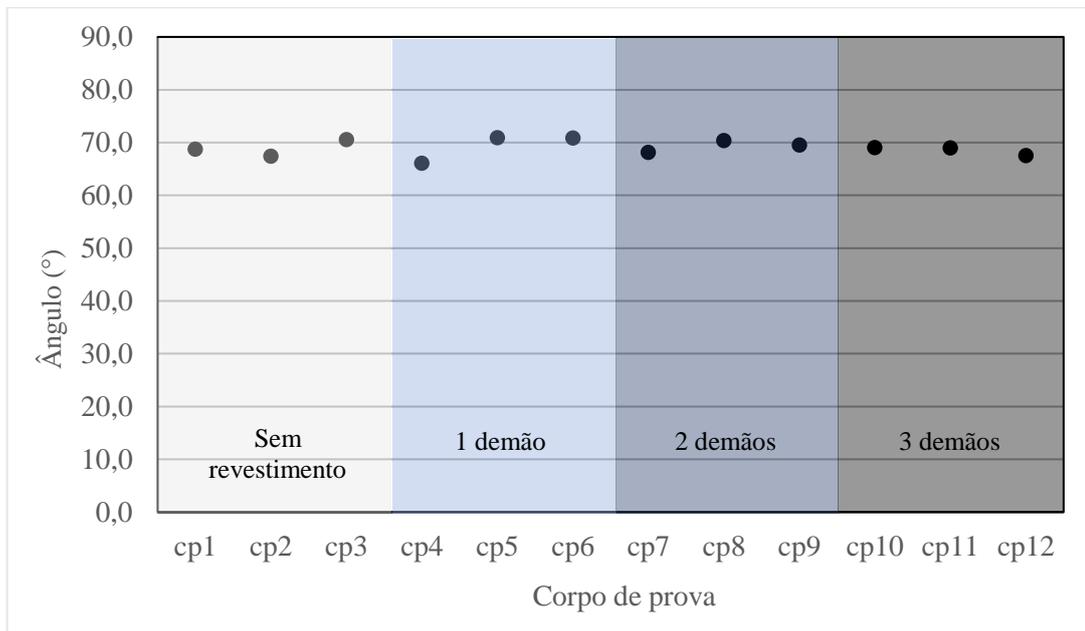
podendo ser explicado pela utilização de uma corrente mais alta, de 85 Ampères, que forneceu mais energia a peça, aumentando região de queima. Mesmo assim, os valores obtidos caracterizam um bom resultado, e ao se comparar os corpos de prova entre si, esses valores não sofreram alterações significativa de espessura da área queimada a medida em que se variou o número de camadas de primer, mantendo-se próximos da média.

Já os valores de ângulo apresentaram uma inclinação geralmente observada em altas velocidades de corte, conforme descrito na mesma seção. Porém, os parâmetros utilizados foram os recomendados pelo fabricante do equipamento, e a mesma alteração pôde ser observada também nos CPs sem aplicação do primer, concluindo que a presença ou não do revestimento não levou a alterações significativas no ângulo de corte. Esses valores se mantiveram próximos da média dos ângulos de 68,99°.

**Gráfico 4: Espessura da região de queima (mm) de cada CP.**



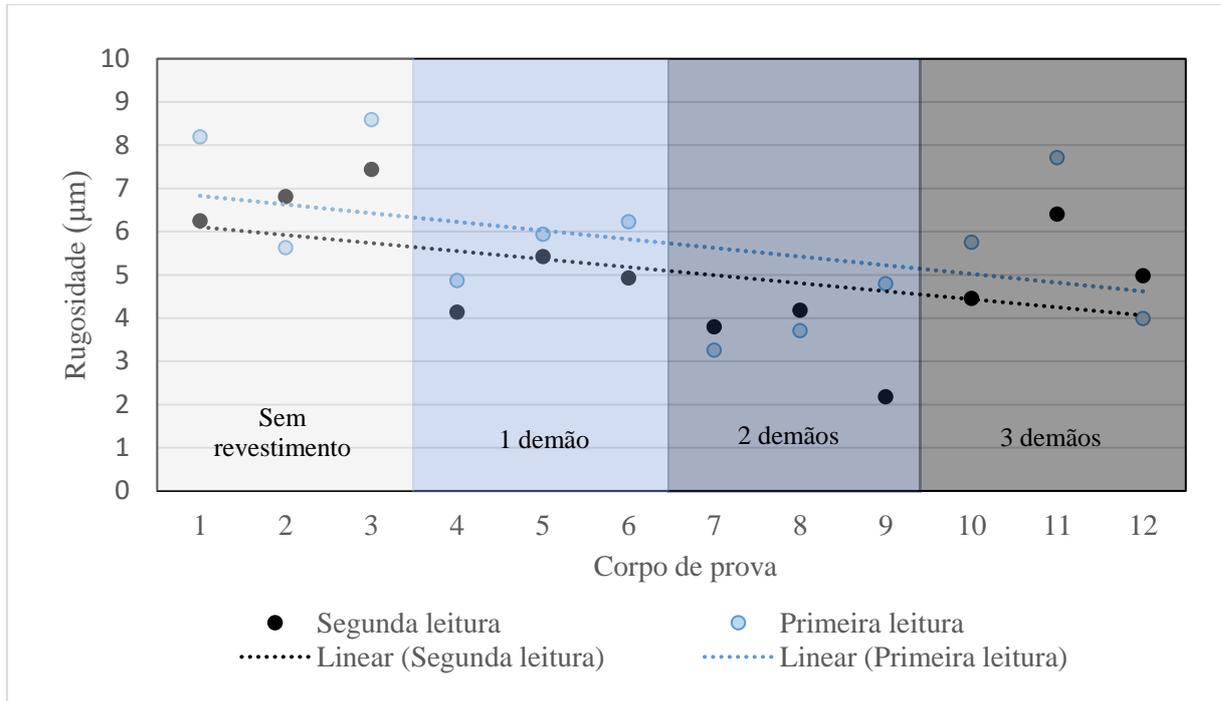
**Gráfico 5: Ângulos de arraste médios dos CPs obtidos a partir da análise no software ImageJ.**



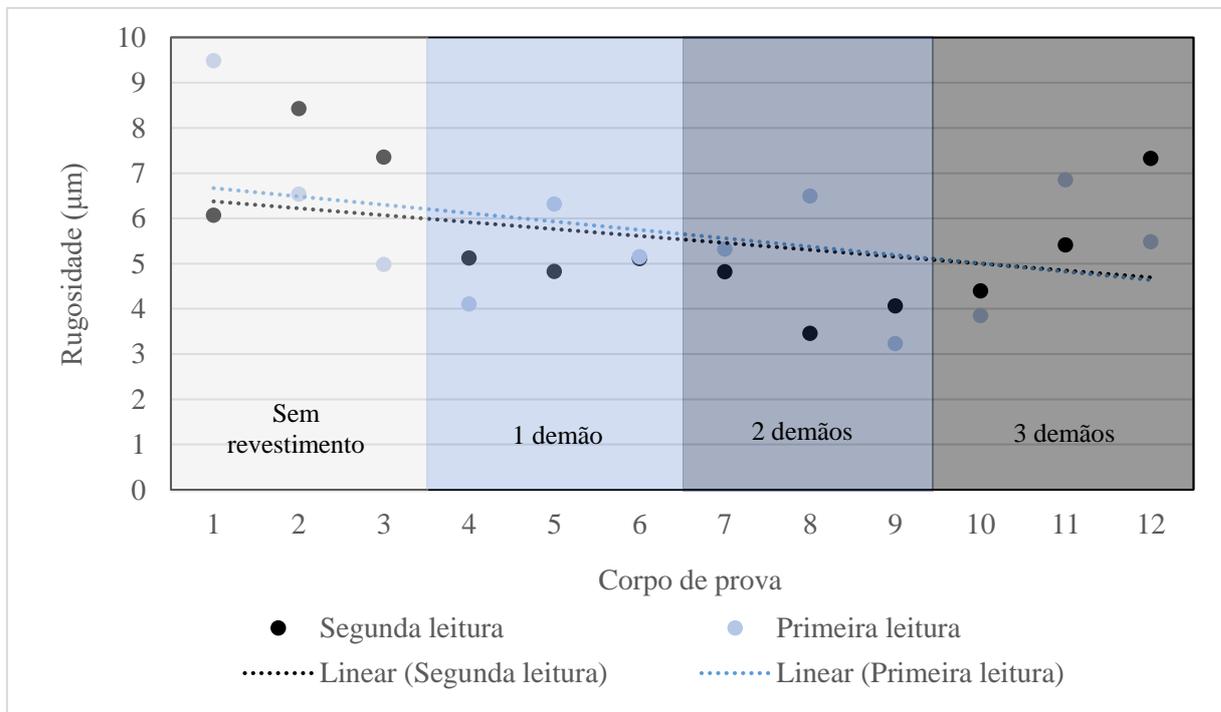
### 5.3.2 Análise da rugosidade

Conforme discutido na seção 3.5.5 desse trabalho, os parâmetros ótimos de corte proporcionam um bom acabamento superficial com baixa rugosidade. Os gráficos 2 e 3 a seguir apresentam os valores de rugosidade obtidos após a primeira e segunda leitura do rugosímetro, e a linearização dos resultados. O gráfico 2 mostra as medidas para as metades superiores dos CPs, e o gráfico 3, para as metades inferiores. Considerando os valores de rugosidade obtidos para os corpos de prova sem aplicação do primer, e comparando com os demais corpos de prova com diferentes camadas, pode-se inferir que o Shop primer não influenciou na rugosidade, conforme mostrado nos gráficos. A linearização mostra uma diminuição pouco significativa dos valores observados. Os valores de rugosidade média Ra se mantiveram entre 2 e 9 $\mu$ m, que podem ser considerados baixos, e que conferiram bom acabamento na superfície de corte, conforme descrito nos trabalhos de BHUVENESH et al. (2012) e TSIOLIKAS et al. (2016).

**Gráfico 6: Medidas de rugosidade obtidas das metades superiores dos corpos de prova.**



**Gráfico 7: Medidas de rugosidade obtidas das metades inferiores dos corpos de prova**



## 6 CONCLUSÃO

Com o trabalho executado, foi possível aplicar os conhecimentos obtidos durante o curso de Engenharia de materiais, para padronização da operação e desenvolvimento de um estudo com base em trabalhos previamente realizados por diferentes autores. Foi possível também compreender a importância do processo de corte a plasma para a indústria, assim como o conhecimento de suas características para a operação ser bem-sucedida. A diversidade de parâmetros operacionais e suas influências devem ser estudadas para se garantir a qualidade e rapidez no corte a plasma. Com os todos resultados observados e analisados, de modo geral, pode-se inferir que o shop primer utilizado como revestimento não influenciou na qualidade do corte, para a técnica utilizada nesse trabalho. Os resultados apresentaram, de modo geral, características de um corte de boa qualidade para os corpos de prova com diferentes camadas de Shop Primer. Sendo assim, o referido pode ser aplicado em superfícies metálicas de forma a minimizar a corrosão, não só para aquelas que se expõem a um ambiente marítimo, mas também as mais diversas peças e componentes metálicos para quaisquer aplicações, garantindo uma proteção, evitando necessidade de etapas como jateamento ou lixamento para remoção de óxidos, e ainda garantindo um bom resultado nos processos de soldagem e corte posteriores. Ainda pode-se concluir que, uma vez não observada a influência do revestimento no corte a plasma, considerando os mais diversos parâmetros de operação e suas influências, deve-se controlá-los de forma rigorosa para se obter altos padrões de qualidade do processo.

## REFERÊNCIAS

PAISIN, J. A. B. Indústria Naval do Brasil: Panorama, Desafios e Perspectivas. Revista do BNDES, Rio de Janeiro, v. 9, n. 18, p. 121-148. Dezembro de 2002.

D'AVILA, A. P. F., & BRIDI, M. A. Indústria naval brasileira e a crise recente: o caso do Polo Naval e Offshore de Rio Grande (RS). Cadernos Metr pole, São Paulo, v. 19, n. 38, p. 249-268, janeiro/abril de 2017.

SINAVAL. Empregos nos estaleiros brasileiros. 2016. Disponível em: <<http://sinaval.org.br/empregos/>>. Acesso em 03 de julho de 2019.

SINAVAL. Indústria naval brasileira vive grave crise a espera de encomendas com queda de 64 % nos empregos desde 2014. 2018. Disponível em: <<http://sinaval.org.br/2018/07/industria-naval-brasileira-vive-grave-crise-a-espera-de-encomendas-com-queda-de-64-nos-empregos-desde-2014/>>. Acesso em 03 de julho de 2019.

RODRIGUEZ, J. A. P. B. Efeito da corrosão do chapeamento do fundo do casco sobre a confiabilidade estrutural de navios. 2015. Tese de Mestrado, Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Naval e Oceânica, São Paulo.

PINHEIRO, M. A. R. & SILVA, R. C. L. Análise de corrosão e aplica o de revestimentos anticorrosivos em cascos de navios. 2015. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal Fluminense.

FRAGATA, R. & ORDINI, A. Desempenho anticorrosivo de esquemas de pintura com tintas primárias em p  pigmentadas com zinco. Corros. Prot. Mater., Lisboa, v. 28, n. 2, p. 55-64, 2009. Disponível em <[http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0870-11642009000200003&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0870-11642009000200003&lng=pt&nrm=iso)>. Acesso em 22 julho de 2019.

GARCIA, P. H. L. Caracteriza o de uma tinta com alto teor de zinco quanto   prote o oferecida a substrato de aço carbono durante imersão em meios aquosos. 1999. Tese de mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo.

GORDO, J. M., CARVALHO, I. S. & SOARES, C. G. Potencialidades de processos tecnológicos avançados de corte e união de aço em reparação naval. Unidade de Engenharia e Tecnologia Naval, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa. 2006. Disponível em <<https://www.researchgate.net/publication/265815249>>.

MARQUES, P. V., MODENESI, P. J., & BRACARENSE, A. Q. (2011). Soldagem Fundamentos e Tecnologia (2ª ed.). Belo Horizonte: UFMG.

WAINER, E., BRANDI, S. D., & MELLO, F. (2010). Soldagem Processos e Metalurgia. São Paulo: Blucher

Hyperterm. (2018). Operator Manual 806650. Revisão 4.

NEDIĆ, B., JANKOVIĆ, M., RADOVANOVIĆ, M., & LAKIĆ, G. G. (2013). Quality of plasma cutting. Disponível em <<https://www.researchgate.net/publication/291135790>>. Acesso em 22 de setembro de 2019.

FERREIRA, M. M. S. Corte a plasma: avaliação do efeito da variação dos parâmetros no processo e na qualidade do corte. (2017). Trabalho de conclusão de curso. Departamento de Engenharia de Materis (Bacharelado em Engenharia de Materiais). CEFET-MG.

BHUVENESH, R. NORIZAMAN, M. H. & MANAN, M. S. A. (2012) Surface Roughness and MRR Effect on Manual Plasma Arc Cutting Machining. World Academy of Science, Engineering and Technology. International Journal of Industrial and Manufacturing Engineering. V. 6, N. 2. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/261368072>>. Acesso em 25 de outubro de 2019.

TSIOLIKAS, A., KECHAGIAS, J. & SALONITIS, K. (2016) Optimization of cut surface quality during CNC Plasma Arc Cutting process. International Journal of system applications, Engeneering & Development. Disponível em: < <https://www.researchgate.net/publication/305640570>>. Acesso em 25 de outubro de 2019.

## ANEXO

**Tabela 4: espessura da camada depositada ao longo do eixo X após a 1ª aplicação.**

Distância (cm)	Espessura inicial	Espessura 1ª aplicação	Espessura real 1ª aplicação
5	1,1	4,8	3,7
7	-0,4	5,1	5,5
9	1,4	5,2	3,8
11	-0,7	3,9	4,6
13	-0,2	7,2	7,4
15	0,2	5,5	5,3
17	1,1	5,9	4,8
19	0,9	6	5,1
21	-1,2	4,3	5,5
23	0,8	5,1	4,3

**Tabela 5: espessura ( $\mu\text{m}$ ) do primer ao longo do eixo X após a 2ª aplicação.**

Distância (cm)	Espessura inicial	Espessura 2ª aplicação	Espessura real 2ª aplicação
5	1,3	17,1	15,8
7	-0,6	15,1	15,7
9	0,4	14,9	14,5
11	0,7	15,6	14,9
13	1,1	16,2	15,1
15	-0,3	17	17,3
17	1,3	13,9	12,6
19	1,1	13,7	12,6
21	-2,2	12,5	14,7
23	1	16,8	15,8

**Tabela 6: Medida das espessuras (em mícron) dos corpos de prova sem aplicação do primer.**

Distância (cm)	2	4	6	8
CP4	-0,4	0,5	-0,7	0,3
CP5	-0,9	0	-0,4	-1,8
CP6	-1,7	-2,2	-0,6	-0,4
CP7	0,4	-0,8	-0,3	-2,3
CP8	-0,4	-0,7	0,4	-0,4
CP9	-0,7	0,5	0,5	0,4
CP10	-0,5	0,9	0,5	-0,3
CP11	-0,7	0,3	0,4	0,5
CP12	0,7	-0,6	-0,9	0,9

**Tabela 7: Medidas das espessuras (em mícron) de primer depositado sobre os CPs.**

Distância		2,0cm	4,0cm	6,0cm	8,0cm	Média ( $\mu\text{m}$ )
1 camada	CP4	13,3	16	14,2	12,5	14,0
	CP5	15,6	15,1	17,5	19	16,8
	CP6	18	18,8	17,6	14,3	17,2
2 camadas	CP7	26,8	26,3	27,5	26,7	26,8
	CP8	24,5	25,6	25,7	27,8	25,9
	CP9	25,7	26,2	24,4	27,7	26,0
3 camadas	CP10	30,4	28	30,4	31	30,0
	CP11	31,5	30,3	30,7	30,4	30,7
	CP12	31,4	33,5	33,5	29,4	32,0

**Tabela 8: Medições de área superior e inferior, comprimento e ângulo obtidos na análise com o software ImageJ, e valores de espessura 1 e 2 ( $\mu\text{m}$ ) calculados.**

	Área superior	Área inferior	Comprimento	Espessura 1	Espessura 2	Ângulo
cp1	221.741	220.450	103.166	2,149	2,137	68,75°
cp2	273.795	251.514	102.917	2,660	2,444	67,38°
cp3	253.506	243.519	105.060	2,413	2,318	70,56°
cp4	251.709	231.228	104.615	2,406	2,210	66,04°
cp5	254.940	231.323	102.143	2,496	2,265	70,91°
cp6	253.471	252.209	107.409	2,360	2,348	78,69°
cp7	225.663	256.868	104.138	2,167	2,467	68,11°
cp8	231.520	251.760	101.333	2,285	2,484	70,35°
cp9	220.457	223.757	100.829	2,186	2,219	69,48°
cp10	240.561	208.013	102.553	2,346	2,028	69,02°
cp11	220.700	243.569	107.235	2,058	2,271	68,95°
cp12	242.756	243.719	107.528	2,258	2,267	67,52°
Média	240,901	238,160	104,077	2,315	2,288	68,99°