

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS UNIS**  
**ENGENHARIA MECÂNICA**  
**KENNER AUGUSTO PEREIRA**

**TRATAMENTO SUPERFICIAL PLASMA: pintura em vedações para automóveis**

**Varginha**  
**2014**

**KENNER AUGUSTO PEREIRA**

**TRATAMENTO SUPERFICIAL PLASMA: pintura em vedações para automóveis**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do centro Universitário do Sul de Minas – UNIS, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel, sob orientação do Prof. Me. Luiz Carlos Vieira Guedes.

**Varginha  
2014**

**KENNER AUGUSTO PEREIRA**

**TRATAMENTO SUPERFICIAL PLASMA: pintura em vedações para automóveis**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_\_

---

Prof. Esp. Jonathan de Oliveira Nery

---

Prof. Me. Alexandre de Oliveira Lopes

OBS.:

Dedico este trabalho primeiramente a DEUS que abençoa todos os meus planos, objetivos e me guia em toda caminhada. A minha família, por tudo que representam e pelo apoio em toda trajetória, e a meus amigos e professores que me auxiliaram para que eu pudesse realizar este trabalho.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço em primeiro lugar a DEUS, que me guia e me dá forças para alcançar os objetivos de cada dia. Aos meus pais, meu irmão e toda minha família por me incentivarem e acreditarem nesta minha caminhada. E agradeço aos professores que me orientaram, auxiliando na realização deste trabalho.

“Qualidade significa fazer certo quando ninguém está olhando.”

Henry Ford

## RESUMO

Este trabalho aborda a avaliação do processo de tratamento superficial por plasma como tratamento e preparação para o posterior processo de pintura em vedações para automóveis em processo de produção. Tal pesquisa aborda a importância do processo de tratamento superficial por plasma em um processo de pintura em vedações para automóveis, o impacto na qualidade do processo de pintura e os possíveis defeitos e não conformidades causadas por uma falha ou má aplicação do processo de tratamento superficial por plasma. Para efeito de análise e comparação, alguns testes que analisam e validam a qualidade e especificações de um processo de pintura foram realizados em uma amostra em que foi realizado o tratamento superficial por plasma e outra amostra em que obteve o processo de pintura sem o tratamento superficial por plasma, simulando uma falha ou má aplicação deste tratamento.

**Palavras-chave:** Tratamento superficial por plasma. Pintura. Vedações para automóveis.

## **ABSTRACT**

*This paper addresses the process evaluation of surface plasma treatment as treatment and preparation for the subsequent process of painting in seals for automobiles in the production process. This research addresses the importance of the process for the surface treatment by plasma in a process of painting seals for automobiles, the impact on the quality of the coating process and the possible defects and non-conformities caused by a failure or misapplication of the process for the surface treatment by plasma. For purposes of analysis and proportion, some tests that analyze and validate the quality and specifications of a painting process was conducted in a sample that received the surface treatment by plasma and other sample that obtained the painting process without the surface treatment by plasma, simulating a failure or misapplication of this treatment.*

**Keywords:** *Surface treatment by plasma. Painting. Seals for automobiles.*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Ângulo de contato ( $\Theta$ ).....	13
Figura 02 – Molhabilidade .....	13
Figura 03 – Jato de plasma .....	14
Figura 04 – Pistola de pintura.....	15
Figura 05 – Geometria de amostra considerada para estudo .....	17
Figura 06 – Amostra 1 recebendo o tratamento superficial por plasma.....	18
Figura 07 – Amostra 2 sem o tratamento superficial por plasma.....	18
Figura 08 – Regulador e indicador de pressão para controle de pressão de ar das pistolas.....	19
Figura 09 – Bomba peristáltica.....	20
Figura 10 – Posicionamento das pistolas de aplicação de pintura.....	21
Figura 11 – Cooler refrigerado .....	22
Figura 12 – Forno infra vermelho para cura da pintura.....	23
Figura 13 – Peça durante o processo de cura da pintura .....	23
Figura 14 – Equipamento de crockmeter.....	24
Figura 15 – Bastão e pano de crockmeter.....	25
Figura 16 – Microscópio utilizado para o teste de espessura de camada .....	26
Figura 17 – Teste de crockmeter em amostra 1 região 1 .....	27
Figura 18 – Amostra 1 região 1 após teste de crockmeter.....	28
Figura 19 – Amostra 1 região 2 e pano de crockmeter após teste de crockmeter .....	28
Figura 20 – Teste de crockmeter em amostra 2 região 1 .....	29
Figura 21 – Amostra 2 região 1 e pano de crockmeter após teste de crockmeter .....	29
Figura 22 – Teste de crockmeter em amostra 2 região 2.....	30
Figura 23 – Amostra 2 região 2 e pano de crockmeter após teste de crockmeter .....	30
Figura 24 – Teste de espessura de camada em amostra 1 região 1 .....	31
Figura 25 - Teste de espessura de camada em amostra 1 região 2 .....	31
Figura 26 – Teste de espessura de camada em amostra 2 região 1 .....	32
Figura 27 – Teste de espessura de camada em amostra 2 região 2 .....	32
Figura 28 – Análise dos resultados dos testes de espessura de camada e crockmeter das amostras 1 e 2 .....	33

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>2 MATERIAL DAS VEDAÇÕES PARA AUTOMÓVEIS .....</b>	<b>11</b>
2.1 Polímeros .....	11
2.2 Tratamento de superfície de polímeros .....	11
2.3 Tensão de superfície ou energia livre.....	12
2.4 Molhabilidade e ângulo de contato .....	12
<b>3 TRATAMENTO SUPERFICIAL POR PLASMA, PINTURA E CURA .....</b>	<b>14</b>
3.1 O que é o plasma .....	14
3.2 Processo de pintura .....	15
3.3 Processo de cura da pintura .....	16
<b>4 MÉTODO .....</b>	<b>17</b>
4.1 Amostra avaliada.....	17
4.2 Tratamento superficial por plasma para amostra 1 e 2.....	17
4.3 Velocidade de extrusão para as amostras 1 e 2.....	18
4.4 Processo de pintura para amostras 1 e 2.....	19
4.4.1 Pressão de ar nas pistolas para aplicação de pintura .....	19
4.4.2 Rotação de bomba para controle do fluxo de revestimento.....	19
4.4.3 Posicionamento das pistolas de aplicação de pintura .....	20
4.4.4 Armazenagem, homogeneização e manuseio do revestimento .....	21
4.5 Processo de cura da pintura .....	22
4.6 Testes para análise da pintura.....	24
4.6.1 Teste de “crockmeter” .....	24
4.6.2 Teste de espessura de camada .....	25
<b>5 RESULTADOS .....</b>	<b>27</b>
5.1 Teste de crockmeter em amostra 1 .....	27
5.2 Teste de crockmeter em amostra 2 .....	28
5.3 Teste de espessura de camada em amostra 1 .....	31
5.4 Teste de espessura de camada em amostra 2 .....	32
5.5 Análise dos resultados .....	33
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>34</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>35</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O trabalho tem como objetivo estudar e demonstrar as etapas de um processo de pintura em vedações para automóveis no processo de extrusão, sendo este um processo utilizado para atender a demanda de peças para o setor automotivo. Em um processo de pintura em vedações, é realizado um tratamento superficial, seguido da aplicação da pintura e cura desta pintura. Este trabalho apresentará uma avaliação em amostras que obtiveram os mesmos parâmetros durante o processo de pintura diferenciando-se apenas em que uma amostra obteve o tratamento superficial por plasma anteriormente ao processo de pintura e uma outra amostra não obteve o tratamento superficial por plasma simulando uma falha ou uma má aplicação deste tratamento superficial.

Serão apresentados alguns testes que analisam e validam a qualidade e especificações para o processo de pintura. Os testes que serão apresentados medem a resistência a abrasão e espessura da camada de pintura obtida no produto acabado.

O objetivo desta avaliação é demonstrar que para se obter um melhor resultado no processo de pintura em vedações para automóveis, possibilitando atender a especificações de cada produto é de extrema importância a realização de um tratamento superficial por plasma anteriormente ao processo de aplicação da pintura.

## 2 MATERIAL DAS VEDAÇÕES PARA AUTOMÓVEIS

Um material muito utilizado na indústria no processo de extrusão para fabricação de vedações para automóveis é a borracha de etileno propileno dieno (EPDM).

Segundo a norma DIN 53501 as borrachas (matéria-prima) são polímeros não reticulados, mas reticuláveis (vulcanizáveis) e que são “rubber-elastic” à temperatura ambiente e, dentro de certos limites, em gamas adjacentes de temperatura. A temperaturas elevadas e/ou sob a influência de forças de deformação, a borracha, matéria-prima, mostra, de modo crescente, um fluxo viscoso que a torna capaz, sob condições adequadas, de sofrer processos de modelação. (GOMES, 2014, p. 1).

Segundo Gomes (2014, p. 1) “a borracha de etileno propileno dieno (EPDM), uma das borrachas muito utilizadas atualmente, pertence ao grupo genérico das borrachas de etileno propileno.”

### 2.1 Polímeros

Polímeros “são cadeias longas com unidades repetitivas de estrutura idêntica em vários tamanhos de cadeias.” (FRIED, 1995 apud CHECCHINATO, 2007, p. 12).

A palavra “polímero” vem do grego, significando “muitas partes”. Polímero é uma substância constituída de moléculas caracterizadas pela repetição de uma ou mais espécies de átomos ou grupos de átomos (unidades constitucionais) ligados uns aos outros em quantidade suficiente para fornecer um conjunto de propriedades que não variam acentuadamente com a adição ou a remoção de uma ou algumas unidades constitucionais de suas moléculas (ANDRADE et al, 2001 apud CHECCHINATO, 2007, p. 12).

### 2.2 Tratamento de superfície de polímeros

Sem um tratamento à superfície do material utilizado para fabricação de uma vedação para automóvel não se obtém uma aplicação e adesão de revestimentos de pintura com qualidade e alta performance como analisaremos posteriormente.

A maioria dos polímeros apresenta superfícies quimicamente inertes, não porosas e com baixa energia livre superficial o que os torna não receptivos à aderência de outras substâncias (tintas, metais, adesivos). Por este motivo, filmes, chapas e objetos fabricados com estes materiais são tratados com técnicas específicas com o intuito de alterar suas propriedades de superfície favorecendo a interação e a adesão da sua superfície com outras substâncias. Os métodos usados para tratar superfícies de polímeros vão desde tratamentos chama convencionais, abrasão mecânica,

químicos/solventes e elétricos (como descarga corona) a tratamentos plasma modernos e técnicas de irradiação por feixe de partículas (elétrons, íons, nêutrons, fótons). (SELLIN, 2002, p. 17).

A necessidade de se tratar (ou pré-tratar) algumas superfícies poliméricas antes da aplicação de um revestimento é bem conhecida na indústria. Duas das principais causas associadas a esta necessidade são a baixa energia livre de superfície e a relativa inércia química desses materiais. Estas características resultam em espalhamento limitado e baixa adesão do revestimento sobre a superfície, especialmente quando este revestimento apresenta caráter polar. Por meio de certas técnicas de tratamento de superfície os efeitos desses dois fatores podem ser diminuídos. Além disto, uma vez que as modificações se estendem a apenas algumas centenas de angstroms de profundidade a partir da superfície, as propriedades de volume do polímero tratado não são afetadas. (LAPORTE, 1997 apud MARTINS, 2009, p. 22).

### 2.3 Tensão de superfície ou energia livre

“A tensão superficial é o trabalho necessário para aumentar uma superfície em uma unidade de área, reversivelmente.” (CHAN, 1994 apud SELLIN, 2002, p. 6).

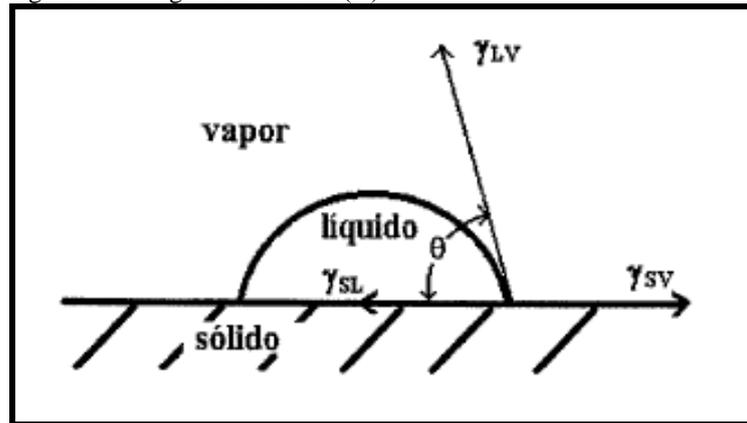
A maioria dos líquidos apresenta energia livre de superfície menor que 100 milinewton por metro (mN/m). Alguns materiais sólidos, como, por exemplo, metais, rubi, diamante e a sílica, possuem energia livre superficial na faixa de 500 a 5000 mN/m, apresentando assim superfícies com alta energia, na qual a maioria dos líquidos orgânicos e inorgânicos se espalha com certa facilidade. No caso dos polímeros, estes possuem uma energia livre superficial inferior a 100 mN/m, sendo, portanto considerados materiais de baixa energia. (BRANDUP, 1975 apud SELLIN, 2002, p. 7).

### 2.4 Molhabilidade e ângulo de contato

A molhabilidade é a tendência de um fluido se espalhar ou aderir sobre uma superfície sólida. Para se obter um melhor molhamento de um líquido sobre a superfície de um substrato a tensão superficial é considerado como o parâmetro principal. Experiências mostraram que somente tensões superficiais a partir de 38 a 42 mN/m fornecem uma condição para adesão. (PLASMATREAT, 2014, tradução nossa).

Em 1805, Young trata o ângulo de contato ( $\Theta$ ) de um líquido como o resultado do equilíbrio mecânico ao depositar uma gota em uma superfície plana sólida sob a interação de três forças de superfície. (ZISMAN, 1964 apud SELLIN, 2002)

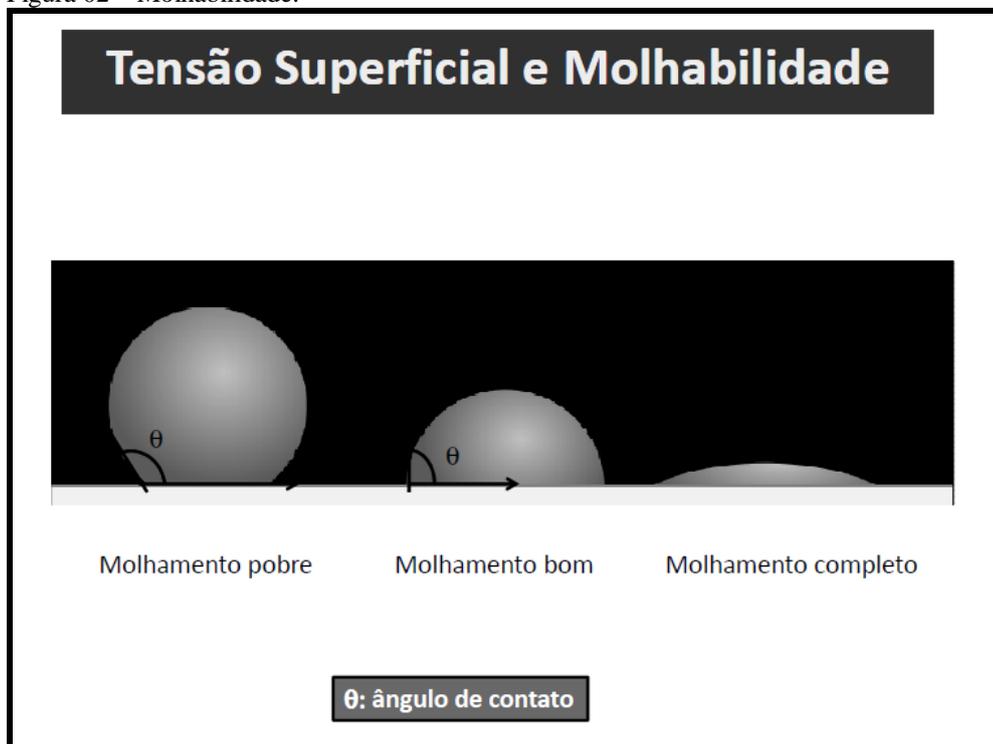
- a)  $\gamma_{LV}$ : energia interfacial entre as fases líquido e vapor – milinewton por metro (mN/m);
- b)  $\gamma_{SL}$ : energia interfacial entre as fases sólido e do líquido – (mN/m);
- c)  $\gamma_{SV}$ : energia interfacial entre as fases sólido e vapor – (mN/m);

Figura 01 – Ângulo de contato ( $\Theta$ ).

Fonte: (SELLIN, 2002, p. 5).

Numa superfície sólida homogênea, o ângulo de contato ( $\Theta$ ) é independente do volume da gota líquida. Isto, desde que a tendência para o líquido espalhar ou molhar a superfície do sólido aumenta quando o ângulo ( $\Theta$ ) diminui, sendo neste caso o ângulo de contato uma medida inversa do espalhamento ou molhabilidade. (CHAN, 1994 apud SELLIN, 2002, p. 6).

Figura 02 – Molhabilidade.



Fonte: (CAMPOS, 2013, p. 4).

Quando há um molhamento pobre durante aplicação de um revestimento na superfície de uma vedação para automóveis tem-se a aparência de várias gotículas borrifadas sobre a superfície. Já quando ocorre o molhamento completo tem-se a formação de uma camada ou película uniforme sobre a região aplicada.

### 3 TRATAMENTO SUPERFICIAL POR PLASMA, PINTURA E CURA

O tratamento superficial por plasma é um processo utilizado para melhorar o espalhamento e a adesão do revestimento no processo de pintura em vedações para automóveis durante seu processo de extrusão. Possibilitando atender a testes que validam a qualidade e especificações para o processo de pintura.

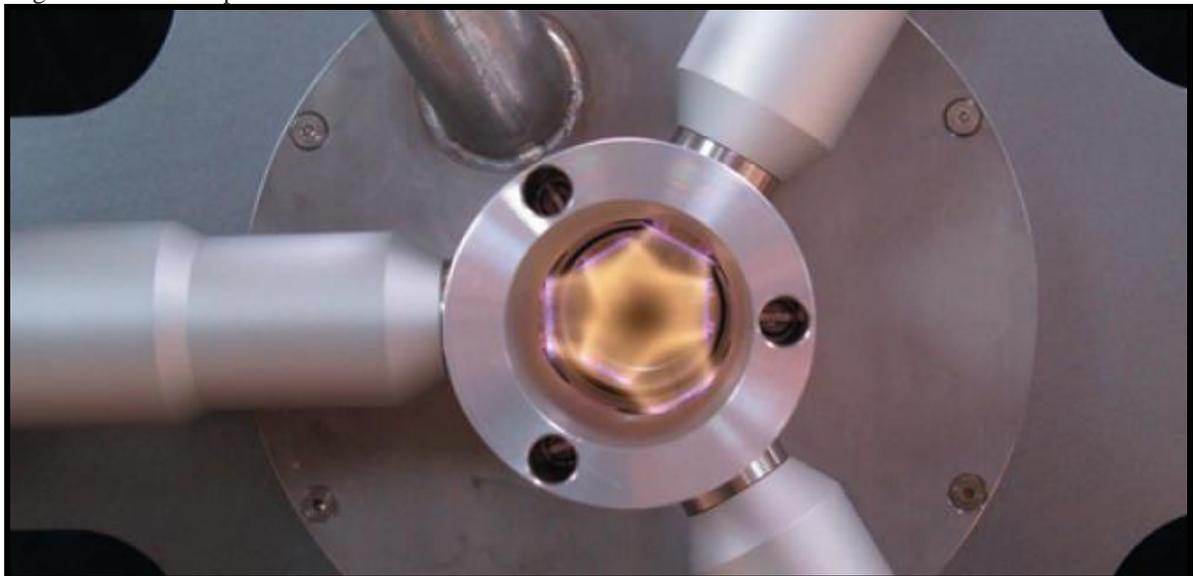
A modificação de uma superfície polimérica exposta ao plasma ocorre através do impacto das espécies fortemente reativas do plasma com as moléculas superficiais do polímero, ocasionando reações que vão modificar a composição da superfície. As ligações iniciais dos polímeros são trocadas por novas funções, as quais alteram a energia superficial do material. (SELLIN, 2002, p. 23).

#### 3.1 O que é o plasma

Segundo Sellin (2002, p. 22) “ o plasma é um estado diluído da matéria, semelhante a um gás ionizado, no qual partículas carregadas estão em tais proporções que o meio está globalmente neutro. ”

Uma descarga elétrica controlada é acionada dentro dos jatos de plasma. Por meio de corrente de ar os componentes reativos do arco são separados e transferidos para fora dos jatos. A alta voltagem necessária para a geração do plasma continua no interior dos jatos. (PLASMATREAT, 2014, tradução nossa).

Figura 03 – Jato de plasma.



Fonte: Plasmatreat solutions on top, 2014.

### 3.2 Processo de pintura

No processo de pintura em vedações para automóveis é muito utilizado o processo de pulverização. Esta pulverização e aplicação do revestimento é ocasionado por uma pistola de pintura que recebe ar com pressão controlada e o revestimento a ser aplicado.

As tecnologias associadas com a aplicação de revestimentos foram desenvolvidas inicialmente pela indústria automotiva, com o apoio posterior das indústrias aeroespacial e computacional. Os avanços da tecnologia biomédica nas áreas de terapias com drogas, cirurgias minimamente invasivas, dispositivos oftálmicos, reposição de tecidos e implantes têm criado um ímpeto similar para facilitar o desenvolvimento de técnicas de modificação de superfície, as quais envolvem etapas de aplicação de revestimento. Dentre as técnicas empregadas em dispositivos médicos, como revestimento por banho, por pulverização, por varredura e por calandragem, a tecnologia de aplicação por banho é uma das mais simples e das que apresenta melhores resultados. (LAPORTE, 1997 apud MARTINS, 2009, p. 26).

Figura 04 – Pistola de pintura.



Fonte: O autor.

### **3.3 Processo de cura da pintura**

Em um processo de cura de revestimento são utilizadas unidades de fornos para esta operação. Eles podem ser implantados facilmente em sistemas de bateladas ou contínuos. Alguns exemplos são fornos de aquecimento por radiação, por circulação de ar, fornos a vácuo e de micro-ondas (WICKS, JONES, PAPPAS, 1994, apud MARTINS, 2009, p. 27).

## 4 MÉTODO

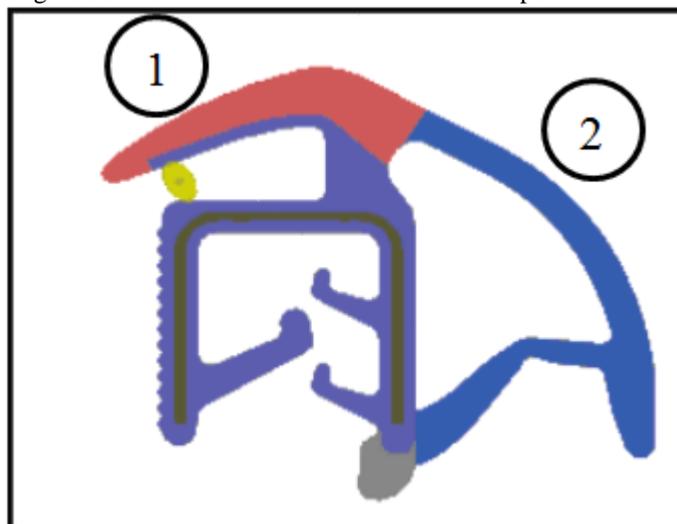
Será apresentado duas amostras analisadas durante um processo de pintura. Possuindo os mesmos parâmetros e condições durante o processo de pintura diferenciando-se apenas em que uma das amostras obteve o tratamento superficial por plasma e a outra amostra não obteve este tratamento simulando uma falha, ou má aplicação deste tratamento superficial.

Para avaliação das amostras será apresentado testes que verificam a resistência a abrasão e espessura de camada obtida durante o processo de pintura.

### 4.1 Amostra avaliada

Segue abaixo geometria da amostra considerada para o estudo e avaliação do processo de pintura com e sem o tratamento superficial por plasma. Foram avaliados dois pontos da amostra descrita como região um e região dois conforme figura abaixo.

Figura 05 – Geometria de amostra considerada para estudo.

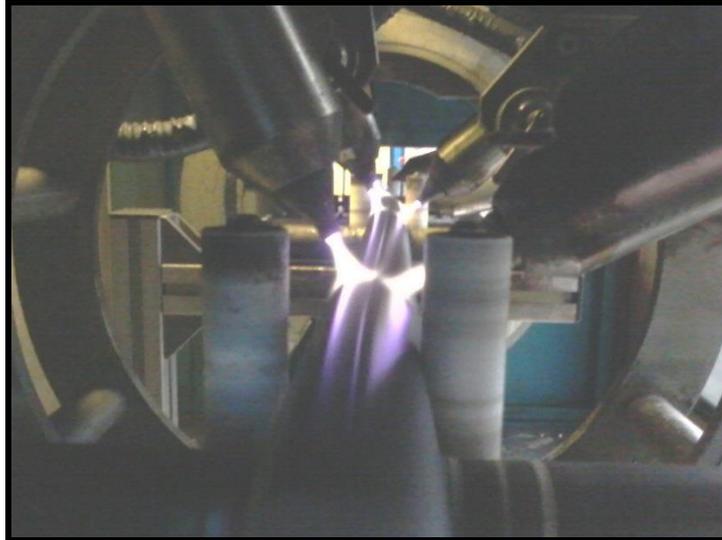


Fonte: O autor.

### 4.2 Tratamento superficial por plasma para amostra 1 e 2

Para a amostra 1 avaliada teremos a aplicação do tratamento superficial por plasma anteriormente ao processo de pintura. Durante a aplicação do tratamento, a amostra 1 obteve 4 bicos de plasma posicionados para a região 1 e 3 bicos de plasma posicionados para a região 2, distanciando-se da superfície da amostra entre 10 a 50 milímetros.

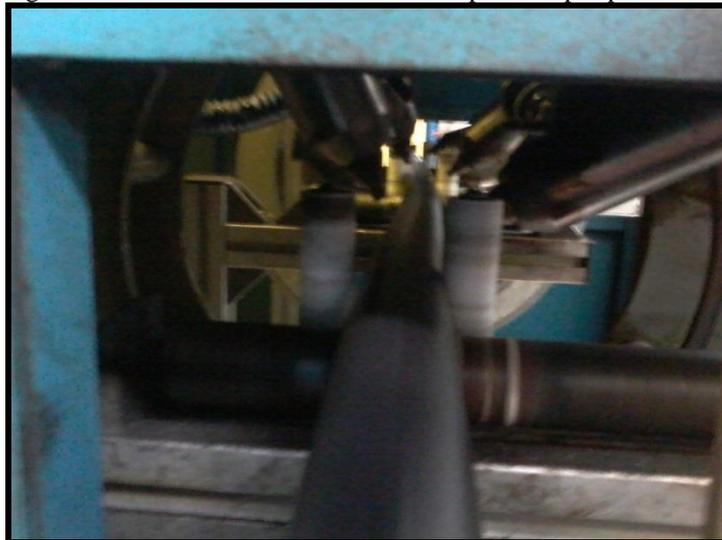
Figura 06 – Amostra 1 recebendo o tratamento superficial por plasma.



Fonte: O autor.

A amostra 2 não receberá o tratamento superficial por plasma em seu processo de pintura para posterior avaliação, simulando assim uma falha ou má aplicação durante o processo de tratamento superficial por plasma.

Figura 07 – Amostra 2 sem o tratamento superficial por plasma.



Fonte: O autor.

#### **4.3 Velocidade de extrusão para as amostras 1 e 2**

A velocidade das amostras é constante durante o processo de extrusão. Para ambos os casos analisados para a amostra 1 e 2 a velocidade de extrusão é de 20 metros por minuto. Assim é garantido a mesma condição para avaliação do processo de pintura das amostras.

#### 4.4 Processo de pintura para amostras 1 e 2

Para o processo de pintura devemos considerar alguns pontos importantes para uma correta aplicação e boa performance do resultado final no produto. Para manuseio e controle deste processo temos alguns parâmetros como:

##### 4.4.1 Pressão de ar nas pistolas para aplicação de pintura

Segundo Cardoso (2009, p. 17), da Withford fornecedor de revestimentos, “a pressão do ar aplicado nas pistolas de pintura é responsável por quebrar o revestimento em pequenas gotículas. O volume de ar é necessário para levar o material da pistola até a peça. ”

Figura 08 – Regulador e indicador de pressão para controle de pressão de ar das pistolas.



Fonte: O autor.

Para o estudo realizado tivemos em ambas as amostras a pressão de ar nas pistolas de aplicação de pintura uma pressão de 5 bar com tolerância de +/- 0,5 bar.

##### 4.4.2 Rotação de bomba para controle do fluxo de revestimento

Para o controle do fluxo de material enviado para a aplicação pelas pistolas é utilizado uma bomba peristáltica com o controle de sua rotação, medida em rotações por minuto (rpm).

Esta rotação controlada é que faz a sucção em um recipiente aonde está localizado o revestimento e o transporta através de mangueiras para a pistola executar a aplicação do mesmo na peça.

Figura 09 – Bomba peristáltica.



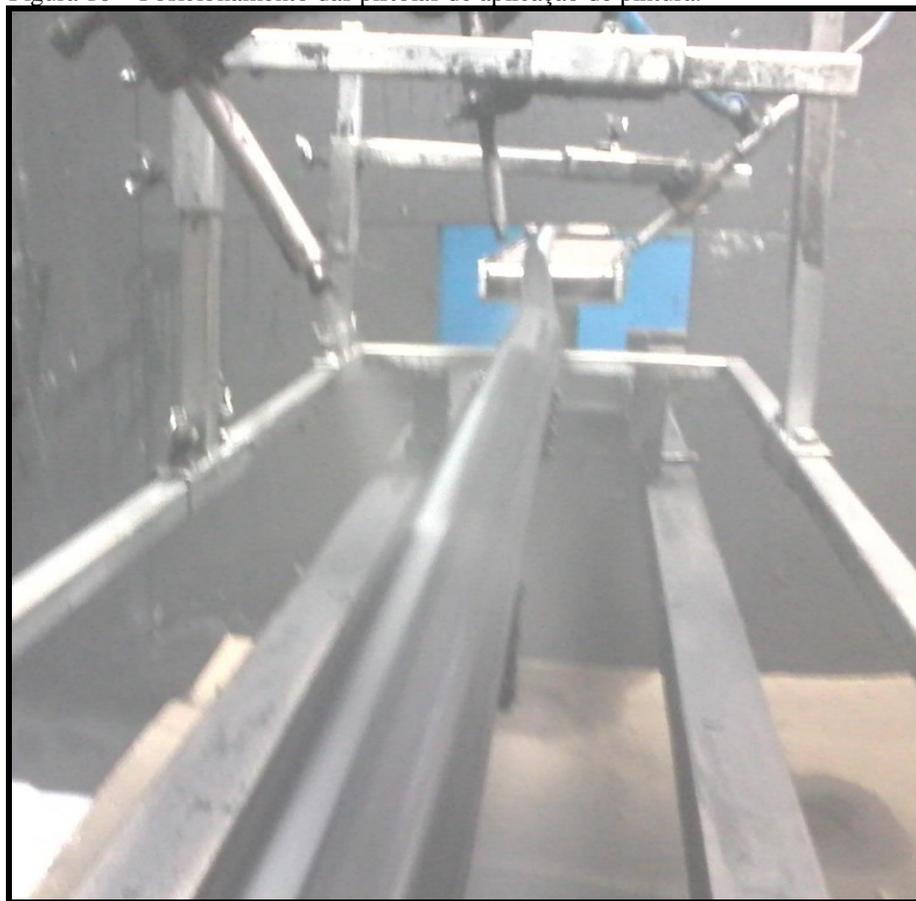
Fonte: O autor.

Para a avaliação feita, tanto a amostra 1 que obteve o tratamento superficial por plasma quanto a amostra 2 que não obteve o tratamento superficial por plasma, o controle do fluxo do revestimento pela bomba era de 10 rpm.

#### 4.4.3 Posicionamento das pistolas de aplicação de pintura

O posicionamento das pistolas é importante para garantir que toda a área que se faz necessária a aplicação da pintura seja atingida. Na amostra avaliada a região a ser aplicada a pintura foi descrita como região 1 e 2. Em ambas as amostras para a análise obtivemos o mesmo posicionamento das pistolas conforme figura a seguir.

Figura 10 – Posicionamento das pistolas de aplicação de pintura.



Fonte: O autor.

#### 4.4.4 Armazenagem, homogeneização e manuseio do revestimento

Conforme recomendado pela Withford fornecedor de revestimentos para vedações de automóveis, para o armazenamento de todo revestimento deve se obter uma temperatura entre 5°C e 25°C. É necessário não permitir que o revestimento congele. Os revestimentos prontos para uso no processo de aplicação de pintura irão começar a reagir acima de 50°C. É de extrema importância que se homogeneíze bem todo o revestimento antes de seu uso, verificando se não há nenhum sedimento no fundo da embalagem (CARDOSO, 2009).

Em casos em que o revestimento atinja temperaturas elevadas onde pode ter o início de sua reação de cura ou secagem durante o processo de pintura, faz-se necessário o controle de temperatura deste revestimento durante o processo de pintura. Esta reação de cura prematura pode ocasionar entupimento das pistolas.

Em casos que se faz necessário o controle da temperatura do revestimento durante o processo de pintura podemos utilizar um cooler refrigerado para controlar a temperatura e executar a homogeneização durante o processo de pintura.

Figura 11 – Cooler refrigerado.



Fonte: O autor.

Para o processo de pintura realizado nas amostras 1 e 2 retiradas para o estudo não se fez necessário a utilização de um cooler refrigerado.

#### **4.5 Processo de cura da pintura**

Para o processo de cura da pintura, onde ocorre sua secagem na região da peça que foi aplicado o revestimento, tem-se recomendado o tempo de cura dentro de um forno entre 60 segundos a 90 segundos sendo que a peça na saída do forno deve atingir uma temperatura entre 165 °C a 185°C. Tem-se como típico para o tempo de residência de uma peça dentro de um forno recebendo o processo de cura de pintura entre 45 segundos a 60 segundos em um processo de extrusão (CARDOSO, 2009).

No processo de cura da pintura das amostras 1 e 2 temos a aplicação de um forno infra vermelho transferindo calor para a peça para atingir a temperatura de trabalho para este processo.

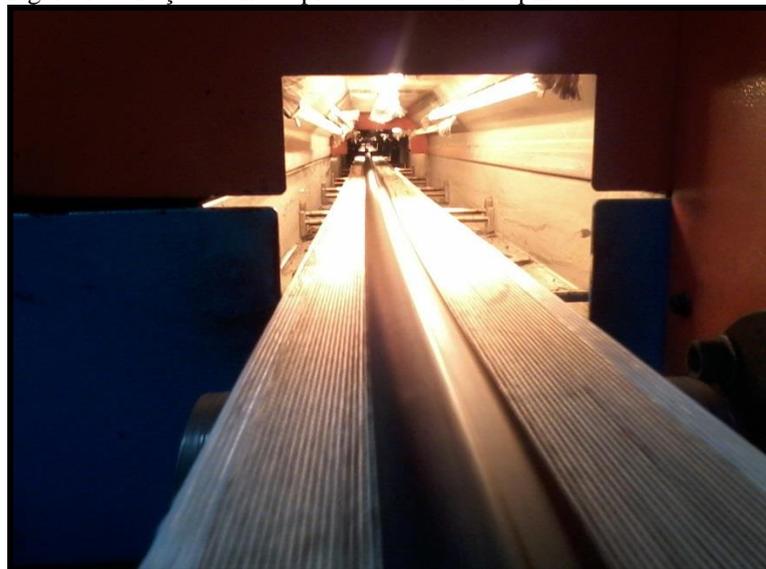
Figura 12 – Forno infra vermelho para cura da pintura.



Fonte: O autor.

O forno infra vermelho onde as amostras 1 e 2 receberam o processo de cura da pintura aplicada tem aproximadamente 18 metros. As peças para o estudo estavam em uma velocidade de extrusão de 20 metros por minuto. Assim ambas as amostras obtiveram um tempo de residência dentro do forno infra vermelho recebendo o processo de cura por aproximadamente 54 segundos.

Figura 13 – Peça durante o processo de cura da pintura.



Fonte: O autor.

## 4.6 Testes para análise da pintura

Serão apresentados testes realizados nas amostras 1 e 2 para avaliação da qualidade e performance do processo final de pintura. Para que uma peça seja validada como boa, a mesma deve atender a especificações ditadas pelas normas de cada cliente e produto específico.

Normas estas que regem especificações para os resultados e alguns procedimentos para a realização dos testes de avaliação.

### 4.6.1 Teste de “crockmeter”

O teste de “crockmeter” avalia a resistência da pintura a abrasão. O que simula em vedações para automóveis a resistência a deslizamentos de vidros, intempéries, impacto ao abrir e fechar portas, etc.

O equipamento de crockmeter executa movimentos cíclicos e retilíneos de vai e vem com um bastão coberto por um pano de crockmeter específico sobre a superfície da região pintada da peça. É um teste visual onde o responsável pela análise verifica se a camada de pintura resistiu ao número de ciclos mínimo especificado para cada produto.

Figura 14 – Equipamento de crockmeter.



Fonte: O autor.

Para o procedimento e avaliação do teste de crockmeter tem-se especificações ditadas pelas normas de cada cliente para cada produto específico como:

- a) Número mínimo de ciclos a resistir;
- b) Especificação do pano de crockmeter;
- c) Comprimento mínimo do corpo de prova, etc.

Figura 15 – Bastão e pano de crockmeter.



Fonte: O autor.

#### 4.6.2 Teste de espessura de camada

Este teste avalia a espessura de camada de revestimento que foi obtida pela peça durante o processo de pintura. A espessura de camada mínima a ser atingida é estipulada por normas pelos clientes de cada produto em específico. Esta espessura de camada mínima é necessária para que o revestimento possa executar sua função como por exemplo a resistência a abrasão.

O responsável pela análise do teste avalia por meio de um microscópio e um software de computador a espessura de camada do revestimento obtida pela peça durante o processo de pintura. Este microscópio aproxima a imagem da amostra em 20 vezes e envia esta imagem para o software do computador onde são feitas dez medições em pontos diferentes da amostra.

Estas medições têm como unidade de medida o micrón metro ( $\mu\text{m}$ ). E o resultado final da espessura de camada do revestimento é a média destas dez medidas avaliadas.

Figura 16 – Microscópio utilizado para o teste de espessura de camada.



Fonte: O autor.

## 5 RESULTADOS

Serão apresentados os resultados dos testes de crockmeter e espessura de camada realizados nas amostras 1 e 2, comparando suas respectivas regiões 1 e 2 para análise da pintura da amostra 1 que obteve um tratamento superficial por plasma e da amostra 2 que não obteve o tratamento superficial por plasma anteriormente ao processo de pintura.

### 5.1 Teste de crockmeter em amostra 1

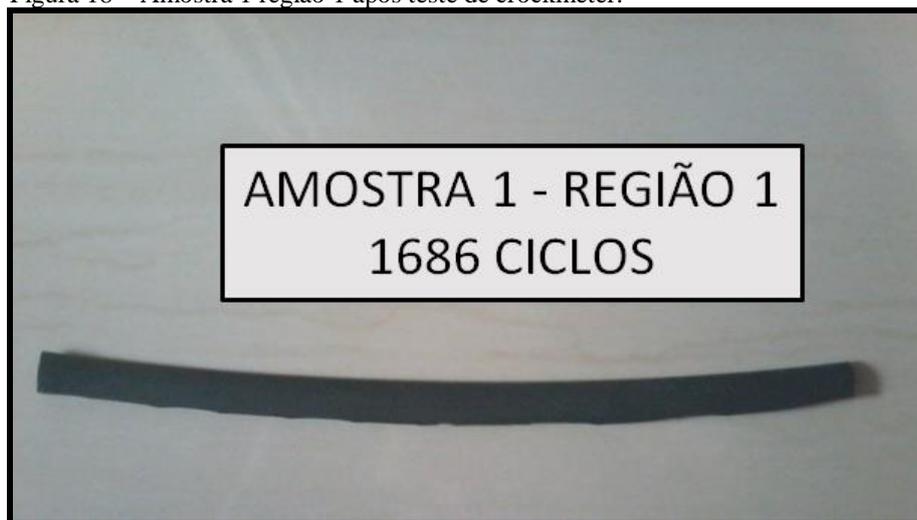
Após a realização do teste de crockmeter na região 1 da amostra 1 obteve-se um resultado de 1686 ciclos.

Figura 17 – Teste de crockmeter em amostra 1 região 1.



Fonte: O autor.

Figura 18 – Amostra 1 região 1 após teste de crockmeter.



Fonte: O autor.

A região 2 da amostra 1 obteve um resultado de 9300 ciclos após a realização do teste de crockmeter.

Figura 19 – Amostra 1 região 2 e pano de crockmeter após teste de crockmeter.



Fonte: O autor.

## 5.2 Teste de crockmeter em amostra 2

Para o teste de crockmeter na região 1 da amostra 2 obteve-se um resultado de 1204 ciclos.

Figura 20 – Teste de crockmeter em amostra 2 região 1.



Fonte: O autor.

Figura 21 – Amostra 2 região 1 e pano de crockmeter após teste de crockmeter.



Fonte: O autor.

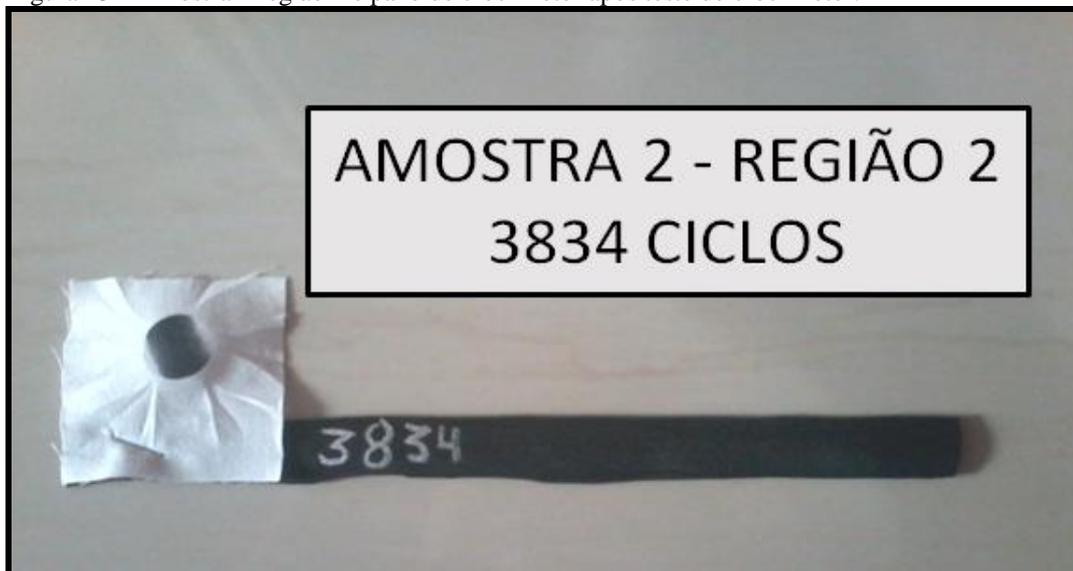
Após a realização do teste de crockmeter na região 2 da amostra 2 obteve-se um resultado de 3834 ciclos.

Figura 22 – Teste de crockmeter em amostra 2 região 2.



Fonte: O autor.

Figura 23 – Amostra 2 região 2 e pano de crockmeter após teste de crockmeter.



Fonte: O autor.

### 5.3 Teste de espessura de camada em amostra 1

Após a realização do teste de espessura de camada em amostra 1 na região 1, o resultado da média final entre as dez medições executadas foi de 10,57 micron metros ( $\mu\text{m}$ ).

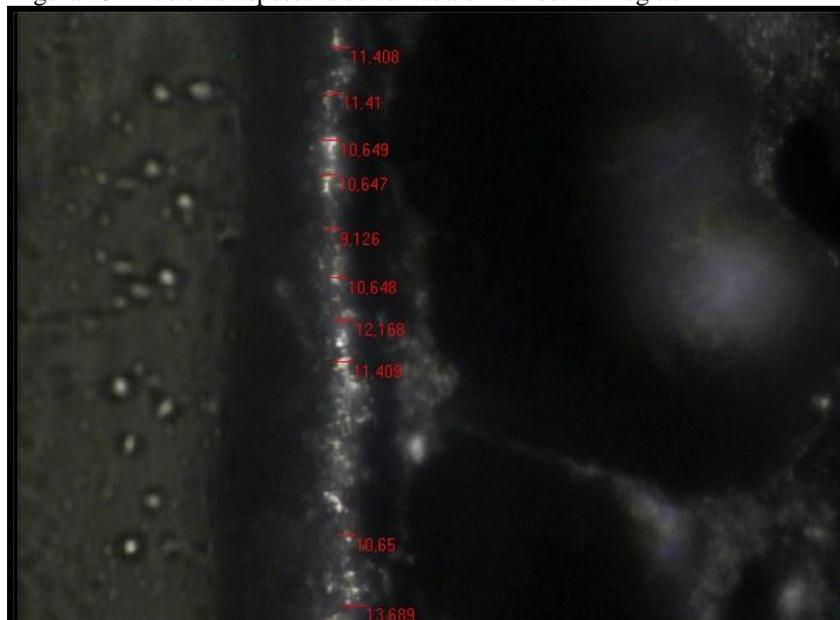
Figura 24 – Teste de espessura de camada em amostra 1 região 1.



Fonte: Software de computador para análise microscópica.

Para a região 2 da amostra 1, o resultado do teste de espessura de camada obtido foi de 11,18 micron metros ( $\mu\text{m}$ ).

Figura 25 - Teste de espessura de camada em amostra 1 região 2.

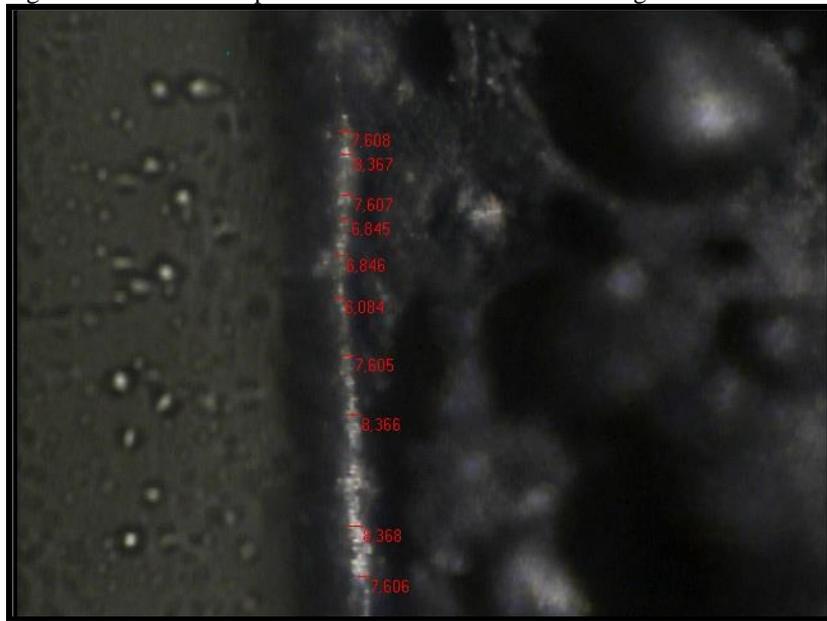


Fonte: Software de computador para análise microscópica.

#### 5.4 Teste de espessura de camada em amostra 2

A espessura de camada do revestimento obtida para a região 1 da amostra 2 após a realização do teste foi de 7,53 micrômetros ( $\mu\text{m}$ ).

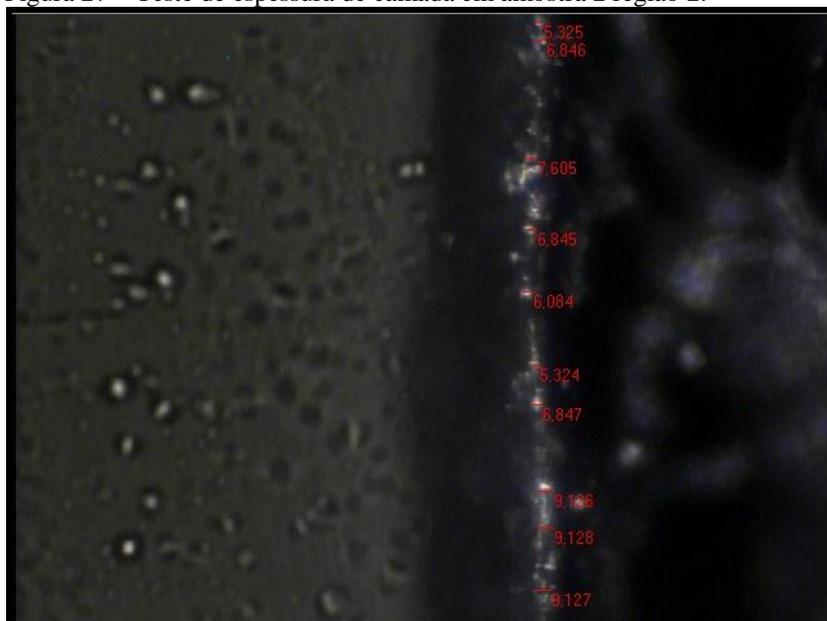
Figura 26 – Teste de espessura de camada em amostra 2 região 1.



Fonte: Software de computador para análise microscópica.

Para a região 2 da amostra 2, foi verificada após o teste de espessura de camada do revestimento um resultado de 7,23 micrômetros ( $\mu\text{m}$ ).

Figura 27 – Teste de espessura de camada em amostra 2 região 2.



Fonte: Software de computador para análise microscópica.

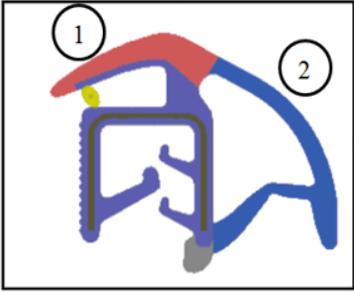
## 5.5 Análise dos resultados

Podemos observar a extrema importância de um processo de tratamento superficial por plasma para um processo de pintura em vedações para automóveis pela análise da figura abaixo. Pelo estudo realizado temos uma perda significativa na performance do processo de pintura entre as amostras avaliadas, diferenciando-se em que a amostra 1 obteve o tratamento superficial por plasma e a amostra 2 não obteve o tratamento superficial por plasma anteriormente ao processo de pintura.

Analisando a região 1 entre as duas amostras tivemos uma perda de 3,04 micrometros em espessura de camada e 482 ciclos para o teste de crockmeter para a amostra que não obteve o tratamento superficial por plasma.

Para a amostra que não obteve o tratamento superficial por plasma anteriormente ao processo de pintura para a realização do estudo, também tivemos uma perda na eficiência do processo de pintura para a região 2. Sendo esta perda de 3,95 micrometros em espessura de camada e 5466 ciclos para o teste de crockmeter.

Figura 28 – Análise dos resultados dos testes de espessura de camada e crockmeter das amostras 1 e 2.

ANÁLISE DE TESTES DE ESPESSURA DE CAMADA E CROCKMETER					
DESCRIÇÃO		TESTE DE ESPESSURA DE CAMADA ( $\mu\text{m}$ )	TESTE DE CROCKMETER ( CICLOS )	DESCRIÇÃO DE REGIÃO 1 E 2 DA AMOSTRA AVALIADA CONFORME FIGURA ABAIXO	
REGIÃO 1	AMOSTRA 1	10,57	1686		
	AMOSTRA 2	7,53	1204		
	DELTA	3,04	482		
REGIÃO 2	AMOSTRA 1	11,18	9300		
	AMOSTRA 2	7,23	3834		
	DELTA	3,95	5466		

NOTA:  
 AMOSTRA 1 - HOUVE O TRATAMENTO SUPERFICIAL POR PLASMA ANTERIORMENTE AO PROCESSO DE PINTURA  
 AMOSTRA 2 - NÃO HOUVE O TRATAMENTO SUPERFICIAL POR PLASMA ANTERIORMENTE AO PROCESSO DE PINTURA

Fonte: O autor.

## 6 CONCLUSÃO

Com a atual visão e necessidade de atender a produtividade e qualidade em um processo produtivo, é necessário estar atento a todas variáveis que interfiram na performance e qualidade de um processo no ambiente da indústria.

Para um processo de pintura em vedações para automóveis é de extrema importância que haja um processo de tratamento superficial por plasma anteriormente ao processo de pintura e cura deste revestimento para que se obtenha alta performance e qualidade de sua aplicação na região especificada de cada produto. Quando há uma falha, ausência ou má aplicação deste tratamento superficial pode-se ocasionar uma perda significativa nos resultados obtidos do processo de pintura.

Para a avaliação de um processo de pintura em vedações para automóveis e validação da qualidade do mesmo, é necessário atender especificações para cada produto de testes que validam este processo de pintura.

Faz-se necessário a aplicação de um tratamento superficial por plasma anteriormente ao processo de pintura para que atenda a estes testes e garanta um processo de pintura com qualidade e alta produtividade para um processo de extrusão de vedações para automóveis.

## REFERÊNCIAS

CAMPOS, Alex Fabiano C. **Tensão superficial e molhamento.** (Mestrado em Ciência de Materiais Faculdade UNB). Planaltina. Universidade de Brasília: 2013.

CARDOSO, Antônio. **Um guia de aplicação para revestimentos Withford.** Withford: 2009.

CHECCHINATO, Fernanda. **Síntese, caracterização e incorporação via polimerização em suspensão do poliestireno de materiais bactericidas obtidos a partir da modificação estrutural do poliestireno e do poli (álcool vinílico).** Universidade federal de Santa Catarina: 2007.

GOMES, Manuel Morato. **Portal da indústria da borracha.** Disponível em: <<http://www.rubberpedia.com/borrachas/borrachas.php>>. Acesso em: 06 julho 2014.

MARTINS, Waldemar Fernando Mello. **Tratamento da superfície de tubos de poliamida 11 por plasma Ac, flambagem e peróxido de hidrogênio para deposição de revestimento hidrofílico biomédico.** Florianópolis: Universidade federal de Santa Catarina: 2009.

PLASMATREAT SOLUTIONS ON TOP. 2014. Disponível em: <[http://www.plasmatreat.com/industrial-applications/automotive/plasma-treatment\\_extrusion\\_epdm-profiles.html](http://www.plasmatreat.com/industrial-applications/automotive/plasma-treatment_extrusion_epdm-profiles.html)>. Acesso em: 23 junho 2014.

SELLIN, Noeli. **Análise da superfície de polímeros pós-tratamento corona.** Campinas: Universidade estadual de Campinas: 2002.