

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS - UNIS
ENGENHARIA MECÂNICA
PEDRO HENRIQUE DE OLIVEIRA SOUZA

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DOS TRATAMENTOS DE SUPERFÍCIE EM PEÇAS
PLÁSTICAS PARA APLICAÇÃO DO PROCESSO DE TAMPOGRAFIA**

Varginha
2018

PEDRO HENRIQUE DE OLIVEIRA SOUZA

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DOS TRATAMENTOS DE SUPERFÍCIE EM PEÇAS
PLÁSTICAS PARA APLICAÇÃO DO PROCESSO DE TAMPOGRAFIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel sob orientação do Prof. Esp. Matheus Henrique Pereira.

**Varginha
2018**

PEDRO HENRIQUE DE OLIVEIRA SOUZA

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DOS TRATAMENTOS DE SUPERFÍCIE EM PEÇAS
PLÁSTICAS PARA APLICAÇÃO DO PROCESSO DETAMPOGRAFIA**

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

Aprovado em: / /

Prof.

Prof.

Prof.

OBS.:

RESUMO

Este trabalho tem como foco a análise do processo de tampografia em peças plásticas de aparelhos eletroeletrônicos em uma empresa com sistema de manufatura enxuta, analisando e comparando as diferentes formas de tratamento superficial e assim, obter o melhor processo, afim de evitar desperdícios de peças com defeito, e conseqüentemente tempo e dinheiro previamente investidos no processo. Tal abordagem se faz necessária devido ao fato da impressão em peças plásticas estar presente indiretamente no cotidiano das pessoas a todo momento. Dessa forma, análises e melhorias no processo devem ser constantes para garantir uma boa qualidade no produto por períodos muito maiores. O objetivo deste trabalho é apresentar o uso da tampografia em termoplásticos, demonstrando os vários processos de tratamento superficial das peças antes da tampografia. Para a realização será feito um estudo teórico sobre os diferentes tratamentos superficiais usados no processo de gravação por tampografia levando em consideração as vantagens e desvantagens de cada processo. Posteriormente serão realizados testes práticos de gravação num mesmo número de amostras para cada processo e assim, realizar a análise dos resultados de 2 processos diferentes. Os processos de tratamento superficial que serão comparados são: o corona e o plasma. Após o levantamento de dados dos 2 processos como produtividade, número de defeitos, custo e qualidade final do produto, estes serão avaliados e comparados para assim concluir o trabalho, apresentando as vantagens e desvantagens de cada processo.

Palavras-chave: Tampografia. Tratamento de Superfície. Peças Plásticas.

ABSTRACT

This work focuses on an analysis of the process of tampo printing in plastic parts of electronic devices in a company with the lean manufacturing system, analyzing and comparing the different forms of surface treatment and thus, get the best process, in order to avoid waste of defective parts, and consequently time and money previously invested in the process. Such an approach is necessary due to the fact of printing on plastic parts is indirectly in people's daily life at all moment. Therefore, analyzes and improvements in the process must be constant to ensure a good quality in the product for longer periods. The objective of this work is to present the use of tampo printing on thermoplastic, demonstrating the various surface treatment process of the parts before the tampo printing. For the achievement will be made a theoretical study about different surfaces treatments used in the process of tampo printing taking to account the advantages and disadvantages of each process. Posteriorly will be carried out practical tests of printing in a same number of samples for each process and thus, analyze of the results of 2 different process. The surface treatment process that will be compared are: the corona and plasma. After data collection of the 2 processes such as productivity, number of defects, cost and final quality of the product, these will be evaluated and compared to thus conclude the work, presenting the advantages and disadvantages of each process.

Keywords: *Tampoprinting. Treatment of surfaces. Plastic Parts.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Clichês de lâmina de aço.....	13
Figura 2: Clichê de nylon fotopolímero	14
Figura 3: Clichê de cerâmica	15
Figura 4: Clichê cilíndrico.....	15
Figura 5: Modelos de tampão	16
Figura 6: Fabricação do tampão	17
Figura 7: Processo com tinteiro aberto	19
Figura 8: Processo com tinteiro fechado	21
Figura 9: Gota de um fluido sobre uma superfície sólida.....	23
Figura 10: Imersão ou emersão de uma substância sólida em um meio fluido.....	24
Figura 11: Tratamento com corona	31
Figura 12: Bico de plasma	33
Figura 13: Primer PP	34
Figura 14: Bico da chama por tratamento com flambagem.....	35
Figura 15: Máquina 01 – Tratamento corona	39
Figura 16: Máquina 02 – Tratamento plasma.....	40
Figura 17: Peça usada nas gravações tampográficas	41
Figura 18: Tinta usada nas gravações tampográficas	41
Figura 19: Solvente 4.....	42
Figura 20: Endurecedor 2	43
Figura 21: Primer PP	43
Figura 22: Fita para teste de aderência	44
Figura 23: Solvente de limpeza B120	44
Figura 24: Protetivo Syntec SPM 990	45
Figura 25: Peça defeituosa com marca do plasma.....	48
Figura 26: Peça com a demarcação da área estudada.....	49
Figura 27: Superfície da peça antes do tratamento com plasma.....	50
Figura 28: Superfície da peça após o tratamento com plasma	50
Figura 29: Peça boa após o teste de aderência.....	51
Figura 30: Peça falhada após o teste de aderência.....	52
Figura 31: Fita usada no teste de aderência.....	52

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Gráfico do método de Zisman	27
Gráfico 2: Índice peças produzidas x defeitos utilizando o tratamento superficial corona	54
Gráfico 3: Índice peças produzidas x defeitos utilizando o tratamento superficial plasma	55
Gráfico 4: Índice de falhas de gravação por tratamento superficial corona x plasma.....	56

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Tensão superficial dos polímeros	25
Quadro 2: Problema 1 – Falta de coleta de tinta pelo tampão	36
Quadro 3: Problema 2 – Gravação desfocada	36
Quadro 4: Problema 3 – Nível baixo de tinta em dias com pouca umidade.....	37
Quadro 5: Problema 4 – Manchas ou efeito de teia de aranha nos contornos.....	37
Quadro 6: Problema 5 – Gravação com pequenas bolhas de ar visíveis	37
Quadro 7: Problema 6 – Tinta com falta de aderência na peça gravada	38
Quadro 8: Dados de produção x defeitos por tratamento superficial com corona	47
Quadro 9: Dados de produção x defeitos por tratamento superficial com plasma	48

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 HISTÓRICO DA TAMPOGRAFIA.....	11
3 PROCESSO TAMPOGRÁFICO	12
3.1 Clichê	12
3.1.1 Clichê de aço VND.....	12
3.1.2 Clichê de lâmina de aço.....	13
3.1.3 Clichê de nylon fotopolímero	13
3.1.4 Clichê de aço aquaflex.....	14
3.1.5 Clichê gravado a laser	14
3.1.6 Clichê de cerâmica.....	14
3.1.7 Clichê cilíndrico	15
3.2 Tampão	16
3.2.1 Fabricação.....	16
3.2.2 Dureza.....	17
3.2.3 Volume	17
3.3 Componentes	17
3.3.1 Tintas	18
3.3.2 Solventes.....	18
3.3.3 Catalizador.....	18
3.4 Tinteiro aberto	19
3.5 Tinteiro selado	20
4 CARACTERÍSTICAS DAS SUPERFÍCIES	22
4.1 Adesão da tinta	22
4.2 Molhabilidade	22
4.3 Ângulo de contato	23
4.4 Energia livre ou tensão superficial.....	24
4.5 Métodos para medição da energia livre superficial.....	26
4.5.1 Método de Zisman	26
4.5.2 Teoria de Fowkes	27
4.5.3 Média Geométrica	28
4.5.4 Média Harmônica	29
5 TRATAMENTO SUPERFICIAL	30
5.1 Corona	30
5.1.1 Teoria.....	30
5.1.2 Funcionamento	31
5.2 Plasma.....	32
5.3 Primer	33
5.4 Flambagem.....	34
6 FALHAS NA GRAVAÇÃO.....	36
7 MATERIAIS E MÉTODOS	39
7.1 Materiais.....	39
7.2 Método	46
7.2.1 Preparação da tinta.....	46
7.2.2 Gravação na máquina com tratamento corona	46

7.2.3 Gravação na máquina com tratamento por plasma.....	47
7.2.4 Estudo da superfície com tratamento por plasma.....	49
7.2.5 Teste de aderência	51
7.2.6 Limpeza dos componentes.....	52
8 RESULTADOS	54
8.1.1 Tratamento superficial com corona	54
8.1.2 Tratamento superficial com plasma.....	55
8.1.3 Comparação dos tratamentos corona x plasma.....	55
9 CONCLUSÃO.....	57
REFERÊNCIAS	58

1 INTRODUÇÃO

A impressão em peças está presente em diversos itens usados diariamente pelas pessoas a todo momento, seja em eletrodomésticos, eletroeletrônicos, peças para carros, brinquedos, talheres e itens de cozinha, acessórios de casa, entre outras coisas. Dessa forma, mesmo que o processo pareça simples, todas as pessoas desejam um produto com qualidade, no qual as impressões não se danifiquem com o tempo, possibilitando assim o uso e a qualidade estética do mesmo por períodos muito maiores. A tampografia pode ser usada em diversos materiais, mas para a impressão em termoplásticos, existem diferentes métodos de tratamento superficial antes da gravação nas peças como o corona, plasma, “*primer*” e flambagem, todos eles com a finalidade de aumentar a umectabilidade da peça, possibilitando a aderência da tinta, porém alguns materiais plásticos não precisam de tratamento pois sua estrutura molecular já tem essa característica, como é o caso do ABS.

O tratamento superficial em peças plásticas antes da gravação por tampografia é de grande importância, pois a tensão superficial da maioria dos polímeros é muito baixa para conseguir a correta penetração da tinta, e devido a esse fato, é necessário um tratamento prévio com o objetivo de aumentar a tensão superficial.

Entre os diferentes processos de tratamento superficial em peças plásticas um deles se destaca, tendo a eficiência, a qualidade e o custo como parâmetros de medição. Sendo assim, neste presente trabalho foram realizados testes com máquinas que realizam o tratamento superficial por corona e por plasma em um mesmo modelo de peça, visando comparar os dois processos afim de apontar as reais vantagens e desvantagens de cada um deles, e após a coleta e análise dos dados, indicar qual o mais eficiente para o tratamento em polímeros.

Juntamente com a gravação da peças em estudo, foram feitos testes de aderência da tinta, para confirmar se o tratamento superficial estava eficaz. E comparando as duas máquina com tratamentos diferentes, plasma e corona, uma delas apresentou uma eficiência melhor nessa concepção. Desse modo foi possível identificar qual tratamento superficial é o mais indicado, demonstrando também os tipos de falhas que podem ocorrer no processo de gravação por tampografia.

Também foi feito um estudo demonstrando visualmente o aspecto da superfície da peça plástica antes do tratamento superficial por plasma e após o tratamento, visando evidenciar a mudança da rugosidade da superfície de modo que permita uma melhor aderência da tinta na gravação tampográfica.

2 HISTÓRICO DA TAMPOGRAFIA

O conceito da tampografia surgiu por volta do século XIX, pelos ingleses, com um sistema rudimentar de tampões feito com gelatinas que duravam cerca de 100 impressões, o principal objetivo do surgimento dessa técnica era para decorar as peças e utensílios domésticos da rainha Vitória. Com o passar do tempo, por volta dos anos de 1950, a indústria relojoeira suíça viu-se frente ao desafio de maximizar sua produção na qual as decorações eram feitas a mão, com isso o conceito da tampografia evoluiu e o processo começou a ser usado na indústria. A partir daí as máquinas foram evoluindo e surgiram as primeiras máquinas de tampografia manuais. Porém somente em 1971 um inventor chamado Pierre Schmid inventou a primeira máquina tampográfica com tinteiro fechado, a SP710, que é a antecessora das máquinas tampográficas atuais, para a decoração dos relógios de pulso. E até hoje pode ser encontrada algumas dessas máquinas sendo usadas pelo mundo, comprovando a robustez da máquina criada por Schmid.

A máquina ainda usava tampões de gelatina, que pelo fato de serem flexíveis atendia com excelência a exigência das superfícies gravadas dos relógios. Porém esse modelo de tampão não tem boa durabilidade, fazendo necessário desenvolver outro material para substituí-lo, e devido a essa necessidade surgiram os tampões de silicone nos quais é possível manipular sua dureza e flexibilidade para confeccioná-lo de acordo com a demanda da peça a ser gravada. Essas características possibilitaram que a tampografia fosse usada também em peças de formato irregulares, pois os tampões assumem o formato das peças que serão gravadas.

3 PROCESSO TAMPOGRÁFICO

A tampografia é um sistema de impressão por transferência indireta, no qual transfere a tinta de um clichê, que está gravado em baixo relevo com a arte, para a peça através de um tampão de silicone. Pode ser usada para peças com qualquer superfície, inclusive superfícies irregulares e curvas, possuindo melhor flexibilidade se comparado com outros processos e proporcionando uma melhor qualidade na gravação. Pode ser usada para gravação em diversos materiais, como o couro, metais, vidros, termoplásticos, termofixos.

3.1 Clichê

O clichê é a matriz de onde está gravada a arte na qual será gerada a impressão na peça. A arte está gravada em baixo relevo com aproximadamente 15 a 30 microns de profundidade, por esse motivo deve ser usado somente tintas próprias para tampografia, nas quais tem grãos mais finos se comparadas com tintas serigráfica por exemplo, pois estas precisam de uma região de 30 a 50 microns para serem depositadas, e a nitidez da arte diminui conforme for aumentando a profundidade da marcação.

A vida útil dos clichês está diretamente ligada a manutenção dos mesmos, devendo sempre manter alguns cuidados essenciais, como por exemplo: a limpeza dos clichês após o processo de gravação, atentando para que a tinta não solidifique dentro da arte que está em baixo relevo. Nos clichês de aço deve-se mantê-los sempre armazenados em um recipiente fechado evitando qualquer contato com impurezas, além de precisarem estar sempre com um protetivo que evite a oxidação dos mesmos. A lâmina dos copos (no caso de tinteiro fechado) ou a lâmina da máquina (no caso de tinteiro aberto) não pode estar com nenhum desgaste, rebarba ou dente, pois aumenta a probabilidade de riscar o clichê e esse tipo de problema impacta diretamente na arte que será gravada. Atualmente existem vários modelos de clichês que podem ser usados no processo de tampografia, diferenciando pelo material que é confeccionado e pela espessura do mesmo, alguns deles são: clichê de aço VND, clichê de lâmina de aço, clichê de nylon fotopolímero, clichê de aço aquaflex, clichê gravado a laser e clichê de cerâmica.

3.1.1 Clichê de aço VND

Esse modelo de clichê é confeccionado com aço duro com cerca de 10mm de

espessura, tornando-o mais pesado e um dos modelos mais caros dentre os outros tipos de material de confecção, porém possibilita melhor qualidade na impressão das artes, com mais nitidez e melhor contorno dos traços, e por ser confeccionado com um aço mais resistente a abrasão possibilitando uma vida útil ser de aproximadamente 1 milhão de impressões (TECA-PRINT, 2018). Uma grande desvantagem desse tipo de clichê é o processo de corrosão da arte no mesmo, que é feito através de fotolitos químicos nocivos ao meio ambiente, não podendo ser descartado em qualquer lugar.

3.1.2 Clichê de lâmina de aço

O clichê de lâmina de aço é bem parecido com o clichê de aço VND, porém é confeccionado com um material menos nobre e sua espessura é bem menor variando entre 0,25 a 0,50mm, formando somente uma lâmina. Essas características fazem com que ele se torne mais barato em relação clichê de aço VND, e garante uma vida útil de aproximadamente 300 mil impressões.

Figura 1: Clichês de lâmina de aço



Fonte: Tampoprint, 2018

3.1.3 Clichê de nylon fotopolímero

Nesse caso o clichê já não é feito somente com aço, nele há uma placa polimérica sensível a luz ultra violeta e uma placa metálica servindo como base, porém a arte é gravada na placa polimérica. É um clichê de baixo custo se comparado aos outros confeccionados somente com metal, mas em contrapartida apresenta baixo tempo de vida útil, que se for utilizado corretamente não ultrapassa 15 mil ciclos.

Figura 2: Clichê de nylon fotopolímero



Fonte: Tampoprint, 2018

3.1.4 Clichê de aço aquaflex

Esse modelo é bem parecido com o clichê de lâmina, pois é confeccionado com aproximadamente mesma espessura, entre 0,25 a 0,50mm. Também é um clichê somente de aço, com vida útil de aproximadamente 300 mil impressões. Mas a grande vantagem em relação aos outros clichês de aço, é o processo de corrosão da arte no clichê, no qual nesse caso é feito somente com materiais químicos biodegradáveis, podendo ser descartado em qualquer lixo, pois não apresenta risco de poluição do meio ambiente.

3.1.5 Clichê gravado a laser

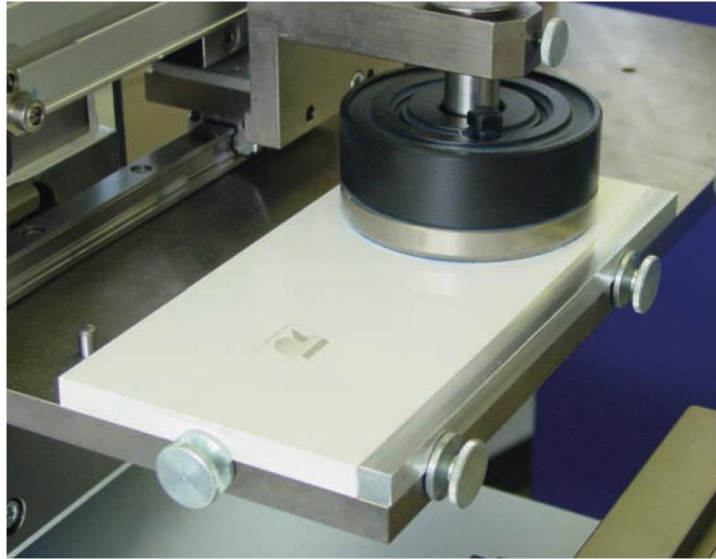
Esse modelo de clichê é o mais ecologicamente correto, ele é feito de aço e pode ter a espessura tanto dos clichês de lâmina (0,25mm a 0,50mm) ou ser mais espesso e sua durabilidade varia em torno de 100 mil impressões. Na sua corrosão não é usado nenhum tipo de material químico somente gravação a laser, na qual faz a marcação da arte na clichê e devido a esse fato se torna o clichê com menos dano ao meio ambiente durante o seu processo de fabricação.

3.1.6 Clichê de cerâmica

Os clichês de cerâmica como o próprio nome já diz não são confeccionados de aço e não tem nenhuma parte de aço em sua estrutura, são confeccionados somente com cerâmica. São usados somente quando é necessário uma alta durabilidade de sua vida útil, podendo alcançar aproximadamente 3 milhões de impressões, por outro lado, o clichê é uma peça frágil devido ao material que é confeccionado. A gravação da arte no clichê é feita por laser e necessariamente precisa ser mais profunda se comparada aos clichê de aço (TECA-PRINT,

2018).

Figura 3: Clichê de cerâmica



Fonte: Teca-print, 2018

3.1.7 Clichê cilíndrico

Esse tipo de clichê não é plano como nos outros casos e sim de formato cilíndrico. E com esse formato é possível ter maior ritmo de produção, pois a gravação no clichê não está concentrada em apenas uma área, mas em todo contorno do mesmo. Porém somente é usado com tampões do mesmo formato cilíndrico, pois somente assim é possível garantir aumento na produção. Pode ser confeccionado tanto em aço como em cerâmica.

Figura 4: Clichê cilíndrico



Fonte: Tampoprint, 2018

3.2 Tampão

O tampão é usado para transferir a tinta do clichê para a peça a ser gravada. No início da tampografia os tampões eram de gelatina e não tinham grande vida útil e também não garantiam uma boa qualidade nas impressões. Com o desenvolvimento da indústria, foi necessário desenvolver um tampão confeccionado com outro material para que melhorasse a qualidade da gravação e aumentasse a vida útil podendo ser utilizado em grandes produções. Assim começou ser fabricado com uma mistura de massa de silicone e óleo de silicone, podendo controlar a sua dureza para melhor atender cada aplicação.

Figura 5: Modelos de tampão



Fonte: Tampoprint, 2018

3.2.1 Fabricação

A confecção do tampão é feita por meio de um molde em forma negativa onde é colocado a massa, o óleo de silicone e o endurecedor. A parte interna do molde precisa ser altamente polida afim de obter a menor rugosidade possível para que não tenha deformações na superfície do tampão, pois somente assim o tampão garantirá uma boa qualidade na impressão. No momento de realizar a mistura dos componentes do tampão e de transferi-lo para o molde deve-se atentar para que não forme bolhas de ar dentro da mistura, pois essas bolhas impactam diretamente as propriedades e qualidade do tampão (TAMPOPRINT, 2018).

Figura 6: Fabricação do tampão



Fonte: Tampoprint, 2018

3.2.2 Dureza

A dureza dos tampões é definida na sua fabricação conforme a proporção de cada componente da mistura, é medida em “*Shore*” e pode variar de 2 a 18 “*Shore*”. A dureza do tampão é um fator crucial para garantir a qualidade da gravação. Quanto maior for a dureza do tampão, mais facilidade ele terá de transferir a tinta para a peça a ser gravada, porém tampões muito duros são geralmente usados em superfícies mais planas, devido à dificuldade de deformação dos mesmos. Por esse motivo quando a gravação é feita em peças com superfícies irregulares, ou arredondadas, os tampões precisam necessariamente serem mais flexíveis. Uma outra aplicação que necessita de tampões mais flexíveis é o caso de artes muito grande, porque para o tampão conseguir coletar um desenho de grande dimensão ele precisa de mais deformação, tanto no contato com o clichê quanto no contato com a peça (TAMPOPRINT, 2018).

3.2.3 Volume

Os tampões podem ser confeccionados nos mais diversos tamanhos e formatos, cada um para garantir melhor qualidade da gravação. Eles devem ser relativamente maior do que a arte, pois isso garante que a máquina faça menos pressão quando for transferir a tinta para a peça. E quanto menor for a pressão do tampão na peça, melhor fica a gravação. Por outro lado, se o tampão for muito maior que a arte ocorre o contrário, a máquina precisará fazer mais pressão para que consiga transferir a tinta para a peça, além do mais, o preço do tampão está relacionado com seu tamanho.

3.3 Componentes

Na tampografia, chamam-se componentes todos os produtos químicos consumíveis usados para a gravação como as tintas, os solventes e o catalizador. São consumíveis pois a

cada gravação de uma nova peça perde-se uma porcentagem desses componentes porque são eles que efetivamente dão forma a arte na peça.

3.3.1 Tintas

As tintas usadas no processo de tampografia exigem uma pigmentação altamente concentrada, pois são depositadas quantidades muito pequenas de tinta no baixo relevo do clichê e conseqüentemente na transferência entre o tampão e a peça gravada. A tinta para tampografia é um composto de vários componentes, cada um responsável para dar a tinta uma característica diferente, são eles: os ligantes, pigmentos, solventes e aditivos.

Na fabricação de uma tinta, o seu aglutinante é composto de várias resinas e como as resinas inicialmente se dão em forma de granulados ou pó, é necessário misturá-los com solvente para criar uma mistura líquida. E essa proporção entre as resinas e o solvente será o que garantirá a área de uso da tinta, a adesão, grau de brilho, entre outros. Os solventes se diferem muito em relação a velocidade de evaporação e essa característica influencia diretamente na propriedade de secagem da tinta.

Os pigmentos são responsáveis por fornecer o tom de cor da tinta e determinam seu poder de cobertura uma sobre as outras, distinguindo-se de pigmentos orgânicos e inorgânicos. Já os aditivos são componentes que dão uma propriedade específica para a tinta ou que auxiliam os outros componentes em sua função, como por exemplo a de aumentar ou diminuir a viscosidade.

3.3.2 Solventes

Algumas tintas já tem uma certa quantidade de solvente em sua composição, porém em alguns casos precisa ser adicionado mais solvente a mistura antes da gravação afim de garantir menor viscosidade da tinta, facilitando assim a deposição da mesma na área em baixo relevo do clichê. Essa adição de solvente evita possíveis falhas na gravação.

3.3.3 Catalizador

Outro componente adicionado na mistura da tinta antes da tampografia é o catalizador ou endurecedor, ele é responsável por acelerar a secagem da tinta devido a isso não deve ser colocado em excesso pois com o início da secagem da tinta dentro do copo dificulta que ela

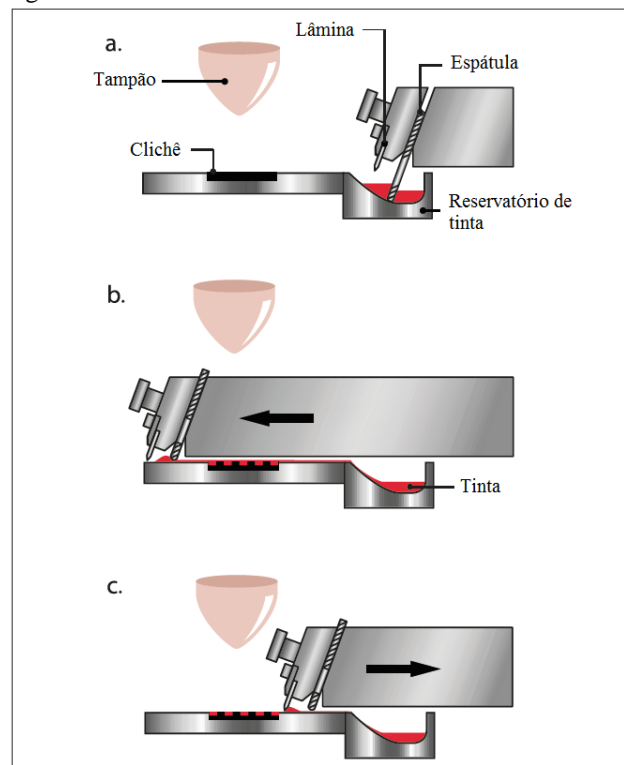
preencha corretamente a área da arte do clichê ocasionando falhas na gravação. Porém o uso do mesmo é de grande importância para a secagem da tinta após a tampografia.

3.4 Tinteiro aberto

Nas máquinas denominadas de tinteiro aberto, a tinta fica armazenada em um recipiente na parte traseira do clichê, assim quando for gravar uma peça o espalhador avança empurrando uma quantidade de tinta para a região de baixo relevo do clichê e quando retorna retira a quantidade de tinta em excesso com uma lâmina, fazendo uma raspagem sobre o clichê, com isso a tinta fica somente dentro da região de baixo relevo, na qual é a região que está gravada a arte no clichê. Após esse processo, o tampão desce até o clichê para coletar a tinta que está sobre o mesmo, e posteriormente o tampão transfere a tinta para a peça a ser gravada através do contato com a mesma (TECA-PRINT, 2018).

Esse processo é mais antigo se comparado ao tinteiro selado, porém não é muito utilizado atualmente na indústria, pois a tinta fica exposta a impurezas e possibilita a evaporação dos solventes, logo causa variações no processo influenciando diretamente na qualidade da impressão.

Figura 7: Processo com tinteiro aberto



Fonte: Teca-print, 2018

3.5 Tinteiro selado

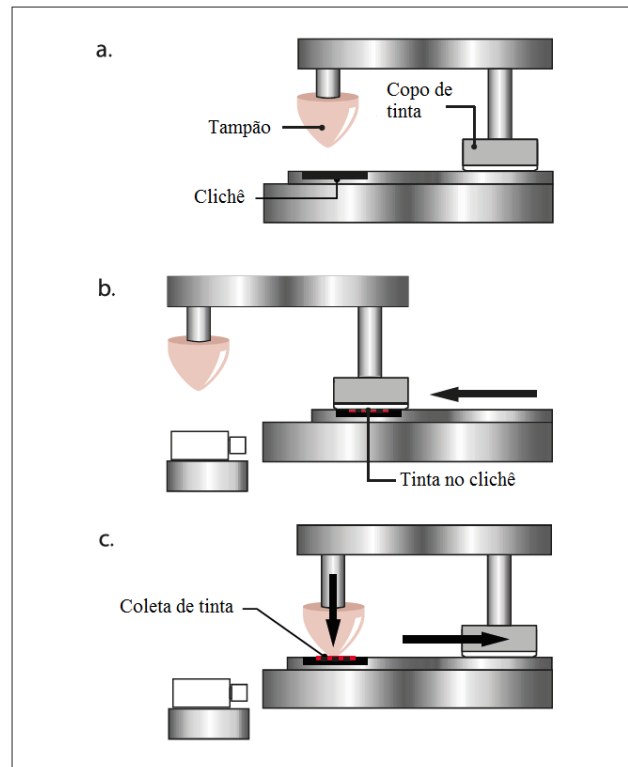
No processo tampográfico com o tinteiro selado não tem o espalhador da tinta e nem a lâmina de raspagem da mesma de forma independente, pois a tinta fica em um copo em contato direto com o clichê, e em volta da borda desse copo está a lâmina para raspagem da tinta. Nesse processo, o copo fica virado com a abertura pra baixo, fazendo que somente o clichê tampe sua abertura, ele fica pressionado no clichê para não ter vazamento de tinta (TECA-PRINT, 2018).

Esse processo pode ser dado de duas formas diferentes em relação ao posicionamento dos componentes da máquina (clichê, copo e tampão): em uma delas o copo fica posicionado na parte traseira do clichê, local onde não está gravado com a arte em baixo relevo. Para conseguir realizar a gravação de uma peça, o copo se move até a parte do clichê onde está com baixo relevo fazendo a deposição da tinta, depois retorna a sua posição inicial, com isso a lâmina que está na borda do copo faz a raspagem da tinta para retirar o excesso. Após a deposição da tinta no clichê, o tampão desce fazendo a coleta da mesma e posteriormente se move até a posição que está a peça a ser gravada, e transfere a tinta para a mesma descendo até ter o contato com a peça.

O outro método, o copo fica posicionado sobre a região do clichê que está em baixo relevo, com isso a tinta fica depositada sobre a arte a praticamente todo momento do processo. No momento da gravação o clichê avança até o local onde está o tampão, com esse avanço a lâmina que está em volta do copo faz a raspagem da tinta retirando o excesso. Após isso o tampão desce até o clichê para fazer a coleta da tinta e sobe novamente. Com a subida do tampão o clichê retorna a sua posição inicial, onde o copo volta a ficar sobre a região de baixo relevo do clichê. A partir do retorno do clichê, o tampão fica com espaço livre para descer novamente, mas dessa vez até a peça a ser gravada, fazendo o depósito da tinta na mesma.

O processo com tinteiro selado é mais usado na indústria pois impede qualquer alteração externa na mistura da tinta durante a execução da gravação.

Figura 8: Processo com tinteiro fechado



Fonte: Teca-print, 2018

4 CARACTERÍSTICAS DAS SUPERFÍCIES

4.1 Adesão da tinta

Adesão nada mais é do que a atração entre duas substâncias de moléculas distintas, sendo, portanto, uma manifestação de forças atrativas entre seus átomos e partículas. Para que se tenha uma boa aderência entre as superfícies de um líquido e de um sólido, deve-se ter uma preparação da superfície do sólido que será aplicado a tinta. A preparação da superfície que deverá ter a adesão estável precisa de uma série de operações para que se tenha uma superfície homogênea e capaz de receber o fluido e garantir a aderência ideal (ARAÚJO, 2011).

A grande maioria dos polímeros possuem limitações quanto as propriedades da superfície na qual garantem uma boa aderência da tinta, impedindo-os assim de serem usados no ramo da impressão e gravação. Devido a esse fato, diversas técnicas de tratamento superficial foram desenvolvidas para garantir uma melhor molhabilidade, adesão e impressão para os plásticos. Essas técnicas proporcionam a formação de grupos polares em suas superfícies garantindo uma melhor umectabilidade da peça (LOUZI, 2015).

4.2 Molhabilidade

Molhabilidade é a propriedade de uma substância líquida de se espalhar por uma superfície sólida, garantindo uma boa permeabilidade entre ambos. E para que se tenha uma boa adesão do líquido no sólido, o fluido deve ter uma energia de coesão menor que a energia de adesão do sólido, pois somente assim será possível romper a tensão superficial do líquido de modo que o mesmo molhe toda a superfície do sólido (MANO, 1999).

No caso dos polímeros, eles podem apresentar superfícies quimicamente polares ou apolares. Uma das características dos apolares, é que sua superfície não é receptiva a qualquer outro fluido, dificultando assim a aderência das tintas ou outros substratos. Já os polares tem características opostas, fazendo com que tenha mais facilidade em relação a aderência da tinta.

4.3 Ângulo de contato

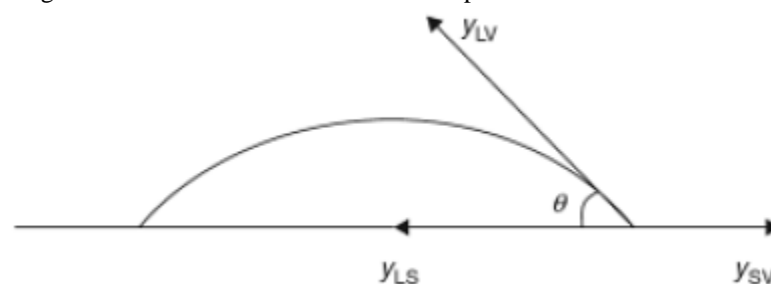
Com dito anteriormente, a molhabilidade é a capacidade de fluido em se espalhar sobre uma superfície sólida, promovendo uma boa permeabilidade na mesma. A medição da capacidade de permeabilidade do fluido no sólido e melhor entendimento pode ser dada através do ângulo de contato. No qual é o ângulo formado entre o sólido e o líquido durante o contato entre eles (SELLIN, 2002).

O ângulo de contato é definido como resultante de um equilíbrio mecânico ocasionado por uma gota de um fluido sobre uma superfície sólida, que seja homogênea, suave e não deformável sob a ação de forças de sua superfície (LOUZI, 2015).

Quando o material sólido é imerso ou retirado de um fluido, dois ângulos de contato também são gerados, chamados de ângulos de contato dinâmicos: ângulo de avanço e de retrocesso. O ângulo de avanço é gerado a partir da imersão do sólido no meio fluido, já o ângulo de retrocesso ocorre do processo inverso, da emersão do sólido na amostra de fluido (LOUZI, 2015).

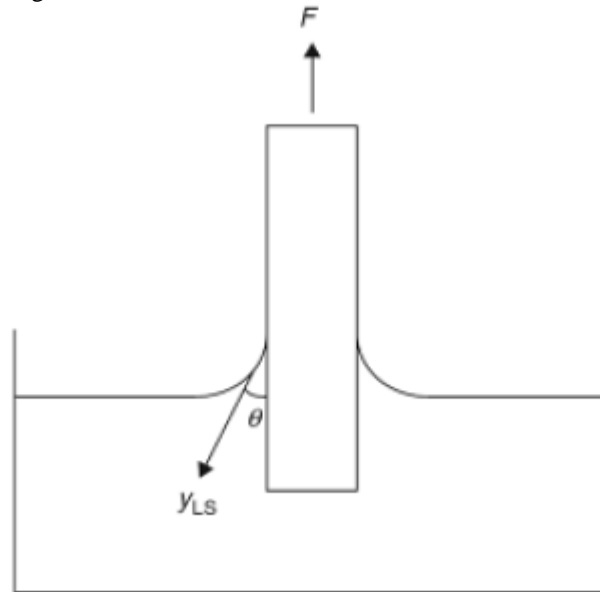
Nas figuras abaixo estão representados os ângulos de contato Θ : A figura 09 representa uma gota de um fluido sobre uma superfície sólida e plana. Já a figura 10, representa a imersão ou emersão de uma peça sólida em um meio fluido. Nos dois casos pode se notar a formação de um ângulo entre a superfície fluida e a sólida.

Figura 9: Gota de um fluido sobre uma superfície sólida



Fonte: LOUZI, 2015

Figura 10: Imersão ou emersão de uma substância sólida em um meio fluido



Fonte: LOUZI, 2015

Na figura 09, γ_{SV} , γ_{LS} , γ_{LV} simbolizam as tensões, forças ou energias da superfície entre o sólido/ar, líquido/sólido e líquido/ar, respectivamente.

Por volta de 1805, Young propôs uma teoria na qual diz respeito ao ângulo de contato, levando em consideração essas três forças resultantes, variando entre 0° a 180° . Dessa forma, quanto mais próximo é o ângulo de contato do valor 0° mais molhada fica a superfície sólida, pois o líquido se espalha sobre ela variando conforme sua taxa de viscosidade e rugosidade da superfície em que o fluido está depositado. Consequentemente quanto maior for o valor do ângulo, menor será a molhabilidade entre o líquido e o sólido (SELLIN, 2002).

A equação proposta por Young, é dada por:

$$\gamma_{SV} - \gamma_{LS} = \gamma_{LV} \cdot \cos \theta \quad (1)$$

Sendo assim, a capacidade de um fluido de espalhar-se e/ou molhar uma superfície sólida aumenta quando o ângulo de contato diminui, logo, pode se concluir que o ângulo de contato representa uma medida inversa a molhabilidade (CARNEIRO, 2001).

4.4 Energia livre ou tensão superficial

Energia livre de superfície também pode ser chamada de tensão superficial em líquidos, ou energia de superfície nos sólidos. É comumente expressa no sistema CGS em dyn/cm, ou no sistema SI em mN/m (milinewtons por metro), em ambos os casos geralmente

representada pela letra grega γ (SENA, 2011).

As moléculas que estão dentro de uma substância fluida, estão sobre a ação de forças intermoleculares Van Der Waals em todas as duas direções, porém isso não é observado para moléculas encontradas na superfície do fluido (SELLIN, 2002).

Na superfície do líquido ocorre um fenômeno de forças diferente em relação ao interior do mesmo, pois suas moléculas orientam-se para o interior da substância devido a sofrerem atração simétrica, ocasionando assim uma forma geométrica com menor área. Levando em consideração os líquidos, a energia livre da superfície é definida como uma força atuante em paralelo a sua superfície por unidade de comprimento. Já em materiais sólidos não ocorre essa atração entre os átomos da superfície como ocorre nos líquidos (COSTA, 1982).

Na maioria dos testes, a água é usada como padrão de líquido de prova e apresenta uma tensão superficial de 72 mN/m, o que é comum, pois líquidos em geral tem sua energia superficial menor que 100 mN/m. Alguns materiais sólidos, como metais, diamantes e algumas pedras apresentam tensão superficial entre 500 a 5000 mN/m, sendo assim considerados com o alta energia. Porém em relação aos polímeros, sua energia livre superficial encontra-se entre 20 a 30 mN/m, considerados assim materiais de baixa energia livre superficial, e conseqüentemente interferindo na aderência de outras substâncias (SELLIN, 2002).

Abaixo encontra-se um quadro com a tensão superficial de alguns polímeros mais comuns a 25°C:

Quadro 1: Tensão superficial dos polímeros

POLÍMERO	TENSÃO SUPERFICIAL (dyn/cm)
Polietileno	31
Polipropileno	32
Poliestireno	33
Poli (cloreto de vinila)	39
Poli (tereftalato de etileno)	43
Nylon 6,6	46

Fonte: CARNEIRO, 2001

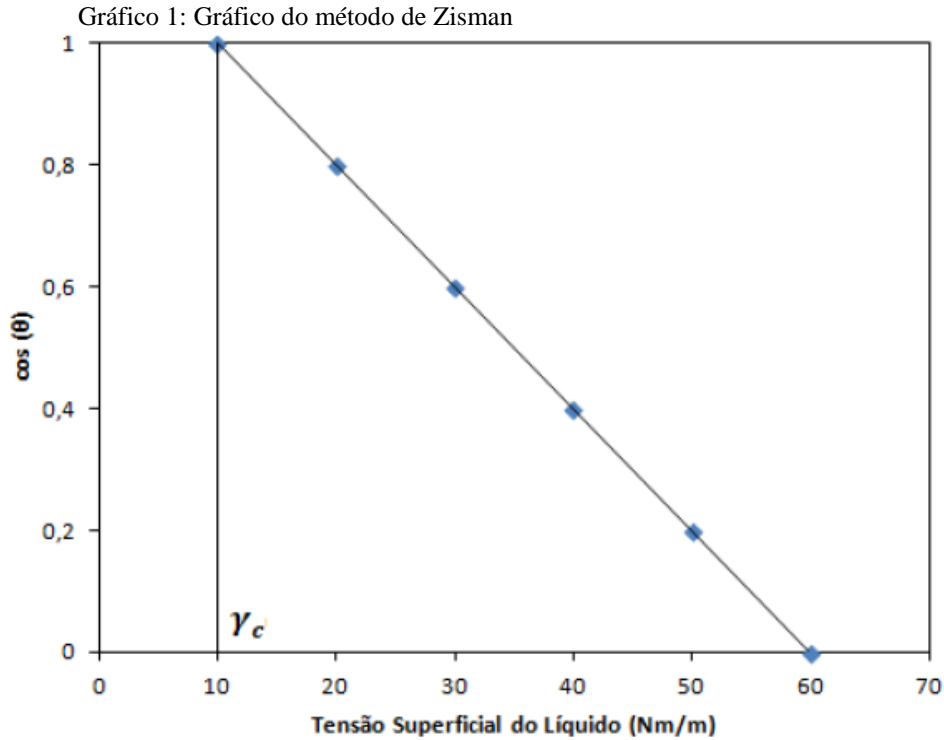
4.5 Métodos para medição da energia livre superficial

Os fenômenos relacionados a adesão em superfícies estão relacionados com a energia de superfície dos materiais no estado sólido. E a determinação do valor dessa energia é encontrado através da equação de Young, porém não é um valor muito simples de ser obtido, devido ao fato da equação ter duas variáveis não determinadas: γ_{SV} e γ_{LS} . Sendo assim, para que seja possível encontrar o valor da energia superficial, deverá usar no mínimo três amostras de líquidos diferentes sendo analisados no mesmo corpo sólido, juntamente com o ângulo de contato obtido em cada teste, somente assim será possível fazer uma estimativa dos parâmetros (SENA, 2011).

Foram introduzidas muitas teorias com o objetivo de medir e descrever a energia de superfície nos materiais poliméricos durante os anos, dentre elas se encontram: Método de Zisman, Teoria de Fowkes, Média Geométrica e Média Harmônica.

4.5.1 Método de Zisman

É um dos métodos mais conceituados e conhecidos para a determinação e caracterização da energia superficial, também conhecido pela determinação da tensão superficial crítica. Zisman realizou seu estudo medindo o ângulo de contato entre diferentes amostras de fluidos e superfícies, e com a coleta desses dados foi plotado um gráfico com as grandezas $\cos \Theta$ versus tensão superficial dos líquidos (γ_{LV}). A partir daí obteve uma relação linear entre suas variáveis, até o ponto em que $\Theta = 0^\circ$ ou $\cos \Theta = 1$, sendo assim, toda a superfície do sólido ficava molhada com o líquido do teste, pois a tensão superficial do líquido se iguala a tensão superficial crítica da superfície sólida. O valor da tensão superficial crítica por ser vista no gráfico abaixo, no eixo das abcissas.



Fonte: LOUZI, 2015

Como visto no quadro 01, a tensão superficial crítica dos polímeros no estado sólido depende da sua estrutura química molecular superficial. Assim a substituição dos átomos de flúor por átomos de hidrogênio faz com que tenha um aumento da tensão superficial crítica. Esse aumento de energia também pode ser verificado nos polímeros clorocarbonetos, onde é feita a substituição de átomos de hidrogênio por átomos de cloro (ZISMAN, 1964).

4.5.2 Teoria de Fowkes

Fowkes propôs uma teoria sugerindo que a energia livre de superfície de um sólido γ_{SV} é composta pelo somatório de duas componentes representando cada qual uma força intermolecular particular. Sendo assim a equação da energia livre superficial poderia ser escrita como:

$$\gamma_{SV} = \gamma_{SV}^d + \gamma_{SV}^p \quad (2)$$

Onde os índices p e d estão relacionados com as componentes da energia de superfície do líquido devido a ligação de ponto de hidrogênio e da força de dispersão, respectivamente (CARNEIRO, 2001).

Para o cálculo da tensão superficial entre líquido/sólido, Fowkes considerou apenas

forçar de dispersão, dessa forma o cálculo para a energia livre oferece aproximações para sistemas mais simples (LOUZI, 2015).

Com isso obteve a equação abaixo:

$$\gamma_{LS} = \gamma_{SV} + \gamma_{LV} - 2(\gamma_{SV}^d \cdot \gamma_{LV}^d)^{1/2} \quad (3)$$

Onde γ_{LV}^d e γ_{SV}^d são as componentes de dispersão da energia livre superficial para líquido e sólido, respectivamente.

Combinando as duas equações anteriores proposta por Fowkes, obtém-se a equação para o cálculo de energia livre de superfície considerando apenas interações dispersivas do sistema, assim não é confiável para estimativas de sistemas complexos. Porém sua aplicação para sistemas simples proporciona aproximações úteis (LOUZI, 2015).

$$\gamma_{LV} (1 + \cos \Theta) = 2(\gamma_{SV}^d \cdot \gamma_{LV}^d)^{1/2} \quad (4)$$

4.5.3 Média Geométrica

Existem outros meio de interação entre sólidos e líquidos em suas interfaces e devido a isso, a equação 4 proposta por Fowkes foi reescrita adequando a mesma para forças polares. Com isso a equação abrange os termos referentes às ligações de hidrogênio, utilizando a média geométrica para unir as forças de dispersão com as forças polares (LOUZI, 2015). Assim obteve a equação 5.

$$\gamma_{LV} (1 + \cos \Theta) = 2(\gamma_{SV}^d \cdot \gamma_{LV}^d)^{1/2} + 2(\gamma_{SV}^p \cdot \gamma_{LV}^p)^{1/2} \quad (5)$$

Onde γ_{SV}^p e γ_{LV}^p são componentes polares relativos a energia livre superficial do sólido. Para a obtenção dos valores das componentes dispersiva e polar dos sólidos ($\gamma_{SV}^d \cdot \gamma_{LV}^p$) é preciso utilizar dois líquidos conhecidos, um polar e outro apolar. A partir daí, para encontrar o valor da componente dispersiva é realizado o cálculo através da equação 6, que leva em consideração o Θ e o γ_{LV} do líquido apolar.

$$\gamma_{SV}^d = \frac{1}{4}[\gamma_{LV}(1 + \cos \Theta)^2] \quad (6)$$

Já para determinar o componente polar (γ_{SV}^p), devem ser levados em consideração o valor da componente dispersiva (γ_{SV}^d), os valores de Θ e o γ_{LV} e as componentes do líquido polar (γ_{LV}^d e γ_{LV}^p), conforme escrito na equação 7.

$$\gamma_{SV}^p = [\gamma_{LV}(1 + \cos \Theta) - 4(\gamma_{SV}^d \cdot \gamma_{LV}^d)]/4\gamma_{LV}^p \quad (7)$$

4.5.4 Média Harmônica

Wu defende que a média harmônica permite resultados mais consistentes para interações entre sistemas de baixa energia, como líquidos e adesivos em polímeros, já a média geométrica é mais adequada para sistemas de alta energia, como por exemplo adesivos em metais. (CARNEIRO, 2001)

Para o cálculo da energia pela média harmônica, Wu utilizou uma das equações de Fowkes (equação 3), introduzindo na mesma a componente polar, como pode ser visto abaixo na equação 8.

$$\gamma_{LS} = \gamma_{SV} + \gamma_{LV} - 4 \left[\frac{\gamma_{SV}^d \cdot \gamma_{LV}^d}{\gamma_{SV}^d + \gamma_{LV}^d} + \frac{\gamma_{SV}^p \cdot \gamma_{LV}^p}{\gamma_{SV}^p + \gamma_{LV}^p} \right] \quad (8)$$

Fazendo a junção das equações 1 e 8, obtém-se a equação de Wu.

$$\gamma_{LV}(1 + \cos \Theta) = 4 \left[\frac{\gamma_{SV}^d \cdot \gamma_{LV}^d}{\gamma_{SV}^d + \gamma_{LV}^d} + \frac{\gamma_{SV}^p \cdot \gamma_{LV}^p}{\gamma_{SV}^p + \gamma_{LV}^p} \right] \quad (9)$$

Wu mostrou que a equação 9 é mais completa e adequada para os cálculos do que a equação proposta por Fowkes, visto que engloba ambos os sistemas polares e não polares. O método de média harmônica fornece resultados mais aproximados para interações entre sistemas de baixa energia, como por exemplo água, líquidos orgânicos e polímeros no estado sólido, porém não é adequado para ser usada em fases que apresentam grandes diferenças de polaridade como o mercúrio e água (LOUZI, 2015).

5 TRATAMENTO SUPERFICIAL

O tratamento superficial se faz necessário em diversos materiais, pois somente assim é possível manter a aderência da tinta. Para os polímeros, sua grande maioria tem de uma superfície quimicamente inerte e com pequena energia livre superficial, o que dificulta a aderência de outros compostos (SELLIN, 2002).

Diversos tipos de materiais plásticos precisam de tratamento superficial antes da gravação por tampografia, seu objetivo é aumentar a umectabilidade da peça, ou seja, torná-la mais suscetível a absorção da tinta. Isso é possível porque o tratamento superficial aumenta a tensão superficial nas peças sintéticas, as quais tem uma tensão muito baixa para a aderência da tinta.

5.1 Corona

O tratamento por corona é obtido através de eletrodos ou por carregamentos iônicos. Um gerador é responsável por fornecer a alta voltagem para a corona de alta frequência e quando ela é descarregada, transmite elétrons para as peças que serão impressas. Na área da chama de descarga é produzida uma mistura de elétrons, íons e gás ou mistura de gás. O corona aplicado na superfície provoca reações que criam ligações polarizadas na peça. Coronas de baixa frequência trabalham com os chamados curtos-circuitos, na qual uma chama de irradiação livre é criada entre os dois eletrodos, semelhante a uma chama de gás. O ar comprimido é usado para empurrar a chama de descarga criada nos eletrodos para a peça que está sendo tratada, podendo assim ser alinhado com precisão em relação a área da peça.

Durante o tratamento por descarga corona, espécies ativas, tais como íons, elétrons e moléculas excitadas de oxigênio (por exemplo, corona em ar: O_2 , O^+ , etc.), bem como outras formas de radiação do polímero ocasionando quebra de cadeias e formação de radicais, criando assim grupo polares na sua superfície e conseqüentemente, aumentando a sua energia livre superficial e propriedades de adesão (SELLIN, 2002).

5.1.1 Teoria

São várias teorias que se aplicam para o tratamento por corona, porém a mais aceita dentre os estudiosos é que o processo oxida a superfície tratada e com isso os gases presentes entre o eletrodo e a peça se ionizam por meio de uma descarga elétrica e a partir daí ocorrem

reações que promovem a formação de grupos polares.

O resultado dessas reações químicas proporcionam a reticulação e funcionalização da superfície do polímero, gerando um grande aumento no caráter polar da superfície e com isso obtém um aumento da energia superficial da mesma, melhorando sua molhabilidade e sendo possível assim melhores condições para que a tinta se fixe na peça (CARNEIRO, 2001).

5.1.2 Funcionamento

O processo é realizado basicamente por um composto de três componentes: O conversor ou gerador, transformador de alta tensão e a estação de tratamento.

- a) Conversor ou gerador: é o elemento responsável por aumentar a frequência fornecida pela rede elétrica (50 / 60 Hz) para alta frequência (10-35 KHz). Com isso a potência nos conversores variam entre 0,5 KW e 30 KW de acordo com a aplicação usada;
- b) Transformador de alta tensão: é o responsável por receber a energia vinda do conversor e aumentar a tensão da mesma para posteriormente enviá-la para os eletrodos;
- c) Estação de tratamento: é a parte final do fluxo da energia elétrica, onde finaliza toda as conversões de frequência, tensão, etc. Sua função é transmitir para a peça a ser tratada de forma uniforme e regular toda a energia vinda dos componentes anteriores através de uma descarga elétrica.

Figura 11: Tratamento com corona



Fonte: Semmil, 2018

5.2 Plasma

O tratamento superficial por plasma é um modelo mais moderno em relação aos outros processos, além de ser um pouco mais caro. Quimicamente o plasma é considerado um estado diluído da matéria, sendo assim partículas carregadas estão em proporções que torna seu meio globalmente neutro (SELLIN, 2002).

Pode ser definido como um gás que contém partículas ionizadas e neutras, dentre elas: elétrons, íons positivos e negativos, radicais e moléculas (VILANI, 2006).

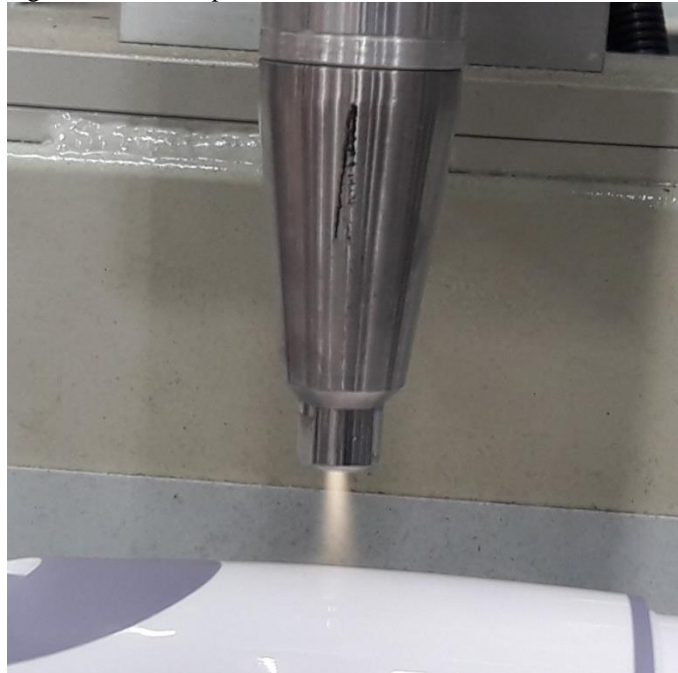
Levando em consideração a pressão atmosférica e temperatura de aproximadamente 5000 K, a matéria se apresenta somente em fase gasosa, porém acima de 10000 K os íons se tornam os principais componentes da matéria e sobre essas condições de pressão e o aumento da temperatura, a matéria passa a ser considerada como estado de plasma (DENES e MANOLACHE, 2004).

O plasma é obtido através de corrente elétrica direcionada por um fluxo de gás, no qual podendo ser de ar, He, Ar, Ne, N₂, CO₂, O₂, entre outros.

Existem dois tipos de plasma para tratamento superficial, o quente e o frio, obtido a partir do estado térmico do gás ionizado. Os plasmas quentes tem uma temperatura em torno de 1500°C a 3500°C, por esse motivo são usados geralmente em metais, para aumentar sua dureza, melhorar o revestimento superficial, etc. Já os plasmas frios, no qual tem uma temperatura a baixo de 100°C, são os mais usados para tratamento superficial em polímeros, e em materiais com baixo ponto de fusão.

A superfície do polímero exposta ao plasma é modificada devido ao impacto das partes fortemente reativa do plasma com as moléculas do polímeros, modificando a superfície do polímero através de reações químicas. A quantidade de penetração do plasma é relativamente baixa, retirando assim uma pequena parte de polímero de sua superfície, fazendo com que as ligações iniciais do polímero sejam trocadas por novas funções, alterando sua energia superficial (SELLIN, 2002).

Figura 12: Bico de plasma



Fonte: O Autor

5.3 Primer

O “*primer*” é um dos tratamentos mais fáceis de ser usado, pois pode ser aplicado manualmente e não tem a necessidade de ser usado dispositivos ou máquinas para esse processo. É um líquido incolor no qual é aplicado na peça antes da impressão para que consiga reagir quimicamente com a superfície e permitir a aderência da tinta. Com isso se torna parecido com um revestimento intermediário entre a tinta e a peça a ser gravada. Também pode ser usado na mistura da tinta, melhorando ainda mais sua aderência no material gravado. Porém esse tipo de tratamento é pouco usado pois precisa de um trabalho anterior a impressão, no qual pode ser demorado caso seja feito manualmente, além de não garantir precisão em todas as áreas da peça que precisam do tratamento. (TAMPOPRINT, 2003).

Pelo fato do “*primer*” ser um líquido ele deve ser passado na região da peça a ser gravada por meio de um pano, algodão ou papel, de modo que toda a área seja umedecida pelo produto. Mas somente após a secagem completa do “*primer*” na peça que deverá ser realizada a impressão da arte, pois somente assim garantirá uma correta transferência de tinta do tampão para a peça.

Figura 13: Primer PP



Fonte: O Autor

5.4 Flambagem

Esse tipo de tratamento é usado há muito tempo, pois se trata de um método simples e de baixo custo. No qual usa uma chama proveniente de um gás com vazão constante proporcionando assim uma chama oxidante estável sendo emitida por um queimador. Os gases mais comuns para utilização desse método são o metano, butano e propano, puros ou misturas entre eles. A chama obtida tem uma temperatura em torno de 1000°C a 2000°C e com isso um dos principais parâmetros para que se tenha um tratamento bem efetivo é a distância entre a chama e a peça que será tratada de modo que não ocorra distorção ou fusão da mesma. Outros parâmetros que devem ser levados em consideração são: Composição da mistura dos gases, duração do tratamento e o fluxo do gás. Esse método pode ser usado para tratamento em superfícies irregulares pois a chama criada consegue contornar facilmente as irregularidades do relevo das peças. Porém nesse método deve ser levado em consideração o mesmo problema enfrentado no tratamento por plasma, caso a chama esteja desregulada em relação a distância da peça e/ou intensidade da chama, poderá acarretar em manchas nas peças a serem gravadas, principalmente se suas cores forem de pigmentação mais escuras.

Figura 14: Bico da chama por tratamento com flambagem



Fonte: MicroPrint, 2017

6 FALHAS NA GRAVAÇÃO

O processo de gravação por tampografia está sujeito a muitas avarias, pois muitos parâmetros influenciam diretamente e indiretamente na gravação, se todos os itens descritos anteriormente não estiverem no ajuste ideal para a peça e a arte que será impressa, poderá influenciar na qualidade, falha, ou tempo de vida útil da gravação. Abaixo encontra-se relacionadas algumas falhas, possíveis causas e soluções para o processo de tampografia.

Quadro 2: Problema 1 – Falta de coleta de tinta pelo tampão

PROBLEMA	FALTA DE COLETA DE TINTA PELO TAMPÃO	
	Possível causa	Possível solução
Tinta	1. Muito grossa 2. Secou 3. Solvente incorreto na mistura	1. Adicione solvente 2. Refazer a tinta, limpar o tinteiro e o clichê com solvente 3. Usar um solvente menos viscoso e adequado para a mistura da tinta
Clichê	1. Profundidade da gravação no clichê insuficiente para coleta da tinta 2. Superfície fisicamente danificada	1. Confeccionar um novo clichê com mais profundidade na arte 2. Confeccionar um novo clichê
Tampão	1. Superfície muito plana 2. Superfície áspera 3. Superfície muito oleosa	1. Usar um tampão com superfície mais abaulada 2. Substituir o tampão 3. Limpar o tampão com solvente até que perca a oleosidade
Outros	1. A pressão do tampão sobre o clichê está muito alta	1. Diminuir o curso de movimentação do tampão sobre o clichê

Fonte: Proll, 2018

Quadro 3: Problema 2 – Gravação desfocada

PROBLEMA	GRAVAÇÃO DESFOCADA	
	Possível causa	Possível solução
Tinta	1. Muito viscosa 2. Muito fina	1. Adicionar solvente 2. Refazer a mistura de tinta
Clichê	1. Gravação da arte muito profunda 2. Gravação da arte com defeito	1. Confeccionar um novo clichê com a arte na profundidade correta 2. Confeccionar um novo clichê
Tampão	1. Muito macio 2. Formato errado para a aplicação	1. Usar um tampão com dureza maior 2. Testar tampões com formas diferentes para avaliar qual a melhor
Superfície gravada	1. Grande variação no relevo	1. Usar mais de um tampão, para gravar em áreas diferentes
Outros	1. Tempo de ciclo muito rápido da máquina, usando um tampão com grande volume	1. Diminuir a velocidade e ajudar os parâmetros da máquina de modo a retardar o ciclo, objetivando um menor impacto no clichê impedindo que ele se movimente

Fonte: Proll, 2018

Quadro 4: Problema 3 – Nível baixo de tinta em dias com pouca umidade

PROBLEMA	NÍVEL BAIXO DE TINTA EM DIAS COM POUCA UMIDADE	
	Possível causa	Possível solução
Tinta	1. Muito grosso 2. Muito fina 3. Tinta misturada incorretamente 4. Tinta contaminada (óleo, silicone, graxa, etc)	1. Adicione solvente 2. Refazer a mistura da tinta 3. Misture bem a tinta antes de colocá-la no tinteiro 4. Refazer uma nova tinta certificando que não tenha impurezas na mesma e nem nos locais onde ela será colocada
Clichê	1. Gravação da arte no clichê com profundidade incorreta	1. Verifique a profundidade da gravação e/ou produzir novo clichê caso necessário
Tampão	1. Superfície muito áspera 2. Formato errado 3. Superfície oleosa	1. Substitua o tampão 2. Teste um tampão com formato diferente 3. Limpe o tampão com solvente
Superfície gravada	1. Superfície suja com impurezas	1. Limpe a superfície com álcool

Fonte: Proll, 2018

Quadro 5: Problema 4 – Manchas ou efeito de teia de aranha nos contornos

PROBLEMA	MANCHAS OU EFEITO DE TEIA DE ARANHA NOS CONTORNOS	
	Possível causa	Possível solução
Tinta	1. Muito grossa 2. Tinta acumulada no tampão 3. Está secando	1. Adicionar solvente a mistura 2. Usar uma mistura menos viscosa 3. Avaliar possibilidade de colocar mais solvente, ou necessidade de refazer uma nova tinta
Clichê	1. Gravação da arte no clichê muito profunda	1. Produzir um novo clichê com a profundidade correta da arte
Tampão	1. Formato errado do tampão 2. Superfície muito áspera	1. Usar um tampão com formato mais adequado 2. Substituir o tampão
Superfície gravada	1. Superfície da peça carregada com eletricidade estática	1. Instalar ionizador anti-estático na máquina de tampografia
Outros	1. Tempo de ciclo da máquina muito rápido 2. Pressão muito alta do tampão na peça que está gravando	1. Reduzir a velocidade da impressão 2. Diminuir o curso de deslocamento do tampão até a peça, e/ou o tempo que o tampão fica sobre a peça

Fonte: Proll, 2018

Quadro 6: Problema 5 – Gravação com pequenas bolhas de ar visíveis

PROBLEMA	GRAVAÇÃO COM PEQUENAS BOLHAS DE AR VISÍVEIS	
	Possível causa	Possível solução
Tinta	1. Muito grossa	1. Adicionar solvente
Clichê	1. Gravação da arte no clichê com baixa profundidade	1. Avaliar a possibilidade de aumentar a profundidade da gravação no clichê ou confeccionar um novo
Tampão	1. Superfície do tampão desgastada 2. Formato errado 3. Tampão muito macio	1. Substituir o tampão 2. Usar um tampão com formato adequado 3. Usar um tampão com maior dureza
Superfície gravada	1. Superfície carregada estaticamente 2. Superfície contaminada com impurezas (pó particulado)	1. Instalar ionizador anti-estático na máquina de tampografia 2. Limpar a peça com álcool antes da gravação
Outros	1. Ambiente contaminado com partículas de pós circulando no ar	1. Instalar a máquina tampografica em um ambiente controlado e limpo

Fonte: Proll, 2018

Quadro 7: Problema 6 – Tinta com falta de aderência na peça gravada

PROBLEMA	TINTA COM FALTA DE ADERÊNCIA NA PEÇA GRAVADA	
	Possível causa	Possível solução
Tinta	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sistema de armazenamento de tinta na máquina incorreto 2. Proporção incorreta na mistura 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Usar apenas o sistema de armazenamento conforme indicado pelo fabricante 2. Refazer a mistura da tinta
Tampão	<ol style="list-style-type: none"> 1. Superfície oleosa 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Limpar a superfície do tampão com solvente
Superfície gravada	<ol style="list-style-type: none"> 1. Superfície contaminada com impurezas (pó particulado) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Limpar a peça com álcool antes da gravação
Outros	<ol style="list-style-type: none"> 1. Falha ou insuficiência de pré tratamento superficial na peça 2. Cura (secagem) por tempo menor que o especificado 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Verificar funcionamento e efetividade do pré-tratamento utilizado e/ou repeti-lo se necessário 2. Respeitar o tempo de cura da tinta de acordo como indicado pelo fabricante

Fonte: Proll, 2018

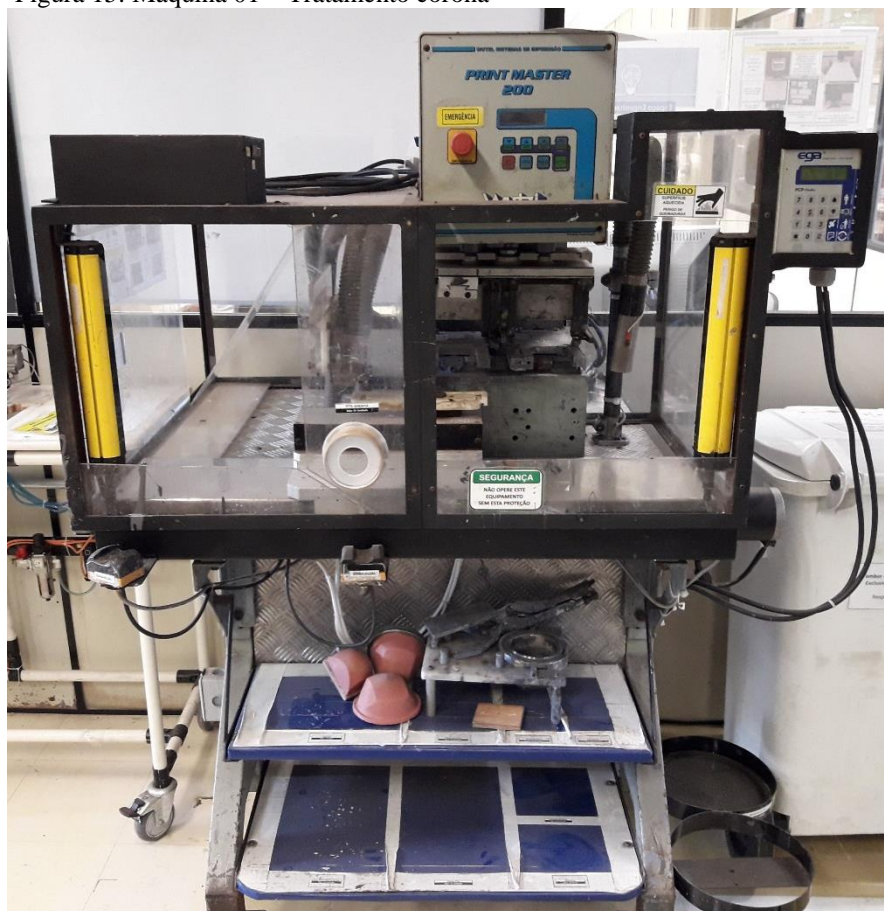
7 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo será descrito o material usado para realização dos testes com dois diferentes tipos de tratamento superficial, o plasma e o corona, e todo o procedimento metodológico para a realização dos mesmos. Afim de demonstrar quais dos processos é o mais eficiente, visando a qualidade estética da peça, aderência da tinta, custos, entre outros.

7.1 Materiais

Para a realização dos testes com os diferentes tipos de tratamentos superficial em peças plásticas, foram utilizadas duas máquinas tampográficas com tinteiro selado, capazes de realizar a gravação em um mesmo modelo de peça, porém usando tratamentos superficiais diferentes. Uma das máquinas (máquina 01) utiliza tratamento superficial por meio do corona, e a outra máquina (máquina 02) utiliza tratamento superficial por meio do plasma.

Figura 15: Máquina 01 – Tratamento corona



Fonte: O Autor

Figura 16: Máquina 02 – Tratamento plasma



Fonte: O Autor

A peça gravada é fabricada com o polímero polipropileno (PP), polímero no qual detém de uma tensão superficial de aproximadamente 32 dyn/cm, considerada baixa para a aderência correta da tinta durante a gravação. E devido a esse fato se faz necessário um tratamento superficial prévio à tampografia. A peça tem formato côncavo e superfície lisa, e sua gravação é realizada em diferentes regiões da mesma, porém em ambas as máquinas utilizadas é usado somente um tampão. Para isso deve-se atentar para a dureza do tampão, de modo que atenda a deformação ideal para a gravação completa da arte do clichê na peça e não tenha impactos negativos na qualidade estética da gravação.

Figura 17: Peça usada nas gravações tampográficas



Fonte: O Autor

A tinta usada foi do fabricante Cotec, a qual não contém pigmentos à base de metais pesados e é isenta de solvente tóxico, porém deve ser armazenada em local adequado evitando altas temperaturas e risco de danificação da embalagem, pois se exposta a altas temperaturas pode produzir produtos de decomposição perigosos, como: monóxido de carbono, dióxido de carbono e óxidos de nitrogênio. É um produto inflamável, imiscível a água e ponto de fulgor maior que 23°C. E independentemente da cor utilizada apresenta as mesmas características, pois é uma tinta voltada exclusivamente para o processo de tampografia. Na qual foi disposta no copo usado na máquina, juntamente com outros componentes descritos a seguir.

Figura 18: Tinta usada nas gravações tampográficas



Fonte: O Autor

Juntamente com a tinta, de modo que tenha uma mistura homogênea, é colocado solvente 4 da fabricante Cotec, o qual é um produto incolor, imiscível a água, inflamável e nocivo à saúde. Seu manuseio deve ser feito com cuidado para evitar contato diretamente com a pele e inalação do seu vapor, devido a isso deve ser usado os EPI's (equipamento de proteção individual) necessários. O objetivo de utilizar o solvente é permitir uma melhor solubilidade da tinta e diminuir a sua viscosidade, facilitando assim a deposição da mistura na arte do clichê e evitando possíveis falhas na legibilidade da gravação.

Figura 19: Solvente 4



Fonte: O Autor

Para auxiliar na secagem da tinta é usado o endurecedor ou catalisador disposto no copo para que seja feita uma mistura de tinta catalisada. Para os testes foi usado o endurecedor 2 da Cotec, que se apresenta na forma líquida e incolor e também é um produto tóxico, inflamável e imiscível a água, com ponto de fulgor de aproximadamente 27°C, no manuseio desse produto deve ser evitado o contato direto com a pele e a inalação de seus vapores.

Figura 20: Endurecedor 2



Fonte: O Autor

Para a gravação com a máquina que utiliza o corona como tratamento superficial, também foi adicionado o “*primer*” PP, também da fabricante Cotec, na mistura da tinta com seus outros componentes, para auxiliar na aderência da tinta na peça gravada.

Figura 21: Primer PP



Fonte: O Autor

Fita adesiva 3M Scotch 810, denominada fita mágica, com 12 milímetros de largura, 33 metros de comprimento e 0,06 milímetros de espessura e resistência a tração de 3,0

kgf/12mm de largura. É uma fita de cor fosca translúcida onde é possível escrever facilmente em sua superfície. Usada para realizar o teste de aderência na peça após a secagem total da tinta.

Figura 22: Fita para teste de aderência



Fonte: O Autor

Para limpeza do tampão, do clichê e do copo é usado o solvente B120 da Oscar Flues, produto específico para limpeza de componentes usados na tampografia. É um produto inflamável e tóxico no qual deve-se evitar contato direto com a pele e inalação dos vapores, podendo causar irritação imediata no indivíduo. Em temperatura ambiente está na forma líquida, incolor e possui um ponto de ebulição de 40,6°C, pressão de vapor de 355mmHg, densidade 1,32g/cm³.

Figura 23: Solvente de limpeza B120



Fonte: O Autor

Para conservação do clichê em seu armazenamento, foi usado o protetor Syntec SPM 990, fabricado pela Ad-Tec, no qual é voltado para proteção anticorrosiva em metais de precisão dentro da indústria. É um produto em forma de "spray", porém não possui nenhum solvente controlado pelas autoridades brasileiras, como: Hexano, benzina, querosene, entre outros. Mas mesmo assim continua sendo um produto inflamável e tóxico devido aos gases contidos em seu recipiente.

Figura 24: Protetivo Syntec SPM 990



Fonte: O Autor

Os equipamentos de segurança individual (EPI) utilizados foram:

- a) Luva anticorte: Usada para proteção das mãos em contato com o anel raspador do copo;
- b) Luva de látex: Usada por cima da luva anticorte, com a finalidade de evitar contato direto das mãos com os componentes usados na mistura da tinta;
- c) Máscara respiratória: O seu uso tem o objetivo de proteger o sistema respiratório da pessoa que está manuseando e preparando a mistura da tinta, evitando a inalação dos vapores emitidos pelos componentes;
- d) Óculos de segurança: Usado para proteger os olhos da pessoa que está preparando a mistura da tinta e que irá operar a máquina, com o objetivo de evitar qualquer dano aos olhos em caso de acidente.

7.2 Método

Após a fabricação, as peças plásticas ficam armazenadas em caixas e envolvidas por um saco plástico e uma folha de papelão, com o objetivo de evitar qualquer tipo de contaminação na superfície da mesma. Contaminação na qual irá influenciar diretamente no resultado da gravação tampográfica, podendo ocasionar a falta de aderência da tinta, mesmo com o tratamento superficial ideal realizado.

7.2.1 Preparação da tinta

A proporção média da mistura da tinta, catalisador, solvente e “*primer*” para a gravação com tratamento por corona é de aproximadamente 77% de tinta, 7% de catalisador, 10% de solvente e 6% de “*primer*”. E para o processo realizado com o tratamento superficial por plasma, a mistura da tinta é composta por: 80% de tinta, 5% de catalisador e 15% de solvente. Podendo a quantidade de solvente variar de acordo com a temperatura ambiente, umidade do ar, entre outros fatores que influenciam na secagem da mistura. Caso a quantidade de solvente não esteja dentro da quantidade ideal, a gravação começa apresentar problemas como: Gravação borrada, falha no preenchimento, vazamento de tinta entre o copo e o clichê, deformação da arte na gravação da peça, entre outros.

7.2.2 Gravação na máquina com tratamento corona

A máquina de gravação que utiliza o corona como tratamento superficial já tem alguns anos de produção, é uma máquina onde o avanço do tampão e do clichê é realizado por um atuador pneumático, sendo o seu ajuste realizado somente pelo tempo de acionamento do ar. Também é composta por um secador, onde existe uma resistência elétrica com um exaustor de ar, com o objetivo de estimular a secagem mais rápida da tinta após a gravação. É ativado somente por alguns segundos após a gravação da peça. É uma máquina mais robusta e manual, se comparada com a máquina de plasma, devido ao fato de ter sido projetada há alguns anos. Porém mesmo com toda robustez, ela é dotada de todos os equipamentos e sensores de segurança, em conformidade com a NR12.

Essa máquina teve um custo estimado em aproximadamente 20 mil reais no ano de sua aquisição, valor no qual está defasado atualmente, mesmo que a máquina não tenha muitos componentes sofisticados e tecnológicos, se for considerar uma compra de uma máquina de

gravação igual a ela na atualidade ela custará um valor bem mais alto.

Foi realizado um acompanhamento na máquina com tratamento superficial por corona durante o ano de 2017, constatando a quantidade produzida e o número de defeitos na peça ocasionado pelo processo de gravação, levantando todos os dados para uma análise posterior. Um dos defeitos mais encontrados foi a peça com marcação devido ao tratamento superficial no qual agredia demais a superfície da peça. O que foi a maior dificuldade do processo, devido à máquina ser um pouco antiga se comparada com a máquina de plasma. Justo a isso não foi possível melhorar os parâmetros da máquina de modo que diminua o refugo por meio da marcação do corona.

Os dados coletados foram analisados em PPM (partes por milhão), comparando a quantidade produzida com a quantidade de defeitos, assim foi possível fazer uma melhor comparação dos dados. Também foi calculado o acumulado do número de defeitos e de quantidade de peças produzida, conforme pode ser visto no quadro abaixo.

Quadro 8: Dados de produção x defeitos por tratamento superficial com corona

Meses	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Número de Defeitos	27	18	20	15	19	18	17	11	17	16	30	12
Quantidade Produzida	17.155	2.573	10.558	6.319	14.899	4.767	8.761	9.542	10.313	12.939	13.167	6.103
PPM	1.574	6.996	1.894	2.374	1.275	3.776	1.940	1.153	1.648	1.237	2.278	1.966
Acumulado (Nº Defeitos)	27	45	65	80	99	117	134	145	162	178	208	220
Acumulado (Qt. Produzida)	17.155	19.728	30.286	36.605	51.504	56.271	65.032	74.574	84.887	97.826	110.993	117.096
Acumulado PPM	1.574	2.281	2.146	2.185	1.922	2.079	2.061	1.944	1.908	1.820	1.874	1.879

Fonte: O Autor

7.2.3 Gravação na máquina com tratamento por plasma

A máquina que utiliza o plasma já é mais nova e com mais tecnologia que a máquina de corona, o avanço e recuo do tampão e clichê não é feito por atuadores pneumáticos e sim por servo-motores, os quais permitem uma precisão maior no deslocamento, proporcionando para a máquina um ajuste mais confiável em relação a quantidade de movimento no avanço e recuo dos mesmos. O bico do plasma também tem sua movimentação realizada por servo-motores, possibilitando que o mesmo faça o contorno ideal de toda a região que será gravada, região na qual é côncava, conforme falado anteriormente, geometria em que dificulta o tratamento superficial pois o bico do plasma deve estar sempre na mesma distância da superfície da peça, evitando danificar sua superfície ou não realizando o tratamento com eficiência.

Assim como a máquina de corona, a máquina de plasma também tem todos os

equipamentos de segurança em conformidade com a NR12, de modo que ofereça a proteção ideal ao operador da mesma.

Essa máquina teve um custo estimado em 180 mil reais, custo no qual é bem maior se comparado com a máquina usada com o corona, pois mesmo se for considerada a atualização do valor da máquina de corona, ela não chegará no valor da máquina de plasma, devido ao fato da máquina que utiliza o plasma como tratamento superficial ter componentes mais tecnológicos e mais precisos.

O tempo de acompanhamento dessa máquina foram de nove meses, desde o início do ano de 2018, foi feita uma análise com os mesmos critérios usados na máquina que utiliza o tratamento superficial por corona, coletando os dados de quantidade produzida e número de defeitos, após a coleta foi realizado o cálculo do total acumulado desses fatores. Conforme pode ser visto no quadro abaixo.

Quadro 9: Dados de produção x defeitos por tratamento superficial com plasma

Meses	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.
Número de Defeitos	15	12	19	23	5	6	4	3	1
Quantidade Produzida	9.419	13.276	12.857	12.352	17.873	9.260	20.762	15.894	10.760
PPM	1.593	904	1.478	1.862	280	648	193	189	93
Acumulado (Nº Defeitos)	15	27	46	69	74	80	84	87	88
Acumulado (Qt. Produzida)	9.419	22.695	35.552	47.904	65.777	75.037	95.799	111.693	122.453
Acumulado PPM	1.593	1.190	1.294	1.440	1.125	1.066	877	779	719

Fonte: O Autor

Assim como no tratamento superficial com corona, o plasma também pode danificar a peça, de modo que fique uma marca de queimado na mesma. Porém isso só ocorre caso a máquina esteja com os parâmetros desregulados.

Figura 25: Peça defeituosa com marca do plasma



Fonte: O Autor

7.2.4 Estudo da superfície com tratamento por plasma

A visualização do tratamento por plasma fica mais facilmente identificado em peças com pigmentação mais escura. Dessa forma foi realizado um teste com uma peça preta com o objetivo de demonstrar a transformação ocorrida na superfície da peça após o tratamento por plasma. No qual foi utilizada a peça de mesma dimensão e geometria que a peça usada nas gravações, porém essa não foi gravada, ela passou somente pelo tratamento superficial.

Em contra partida, as peças mais escuras também são mais sensíveis em relação a manchas por parte do tratamento superficial, no qual precisa estar em uma condição ideal para o tratamento eficaz. Pois se o bico de plasma estiver passando próximo demais sobre a peça, ou esteja muito lento em sua movimentação ao redor da superfície da mesma, o tratamento irá agredir demais a superfície tratada, causando um aquecimento na região e deformação na camada superficial da peça, deixando-a com uma mancha característica.

Para o teste, foi demarcada uma área na superfície da peça onde seria tratada com o plasma. Essa área foi analisada antes do tratamento em um microscópio aumentando 80 vezes, de modo a verificar como é a superfície em condições normais. Após o tratamento com o plasma na área delimitada, a peça foi colocada novamente no microscópio com o mesmo grau de aproximação, afim de possibilitar o estudo de qual foi a modificação em sua superfície.

Figura 26: Peça com a demarcação da área estudada



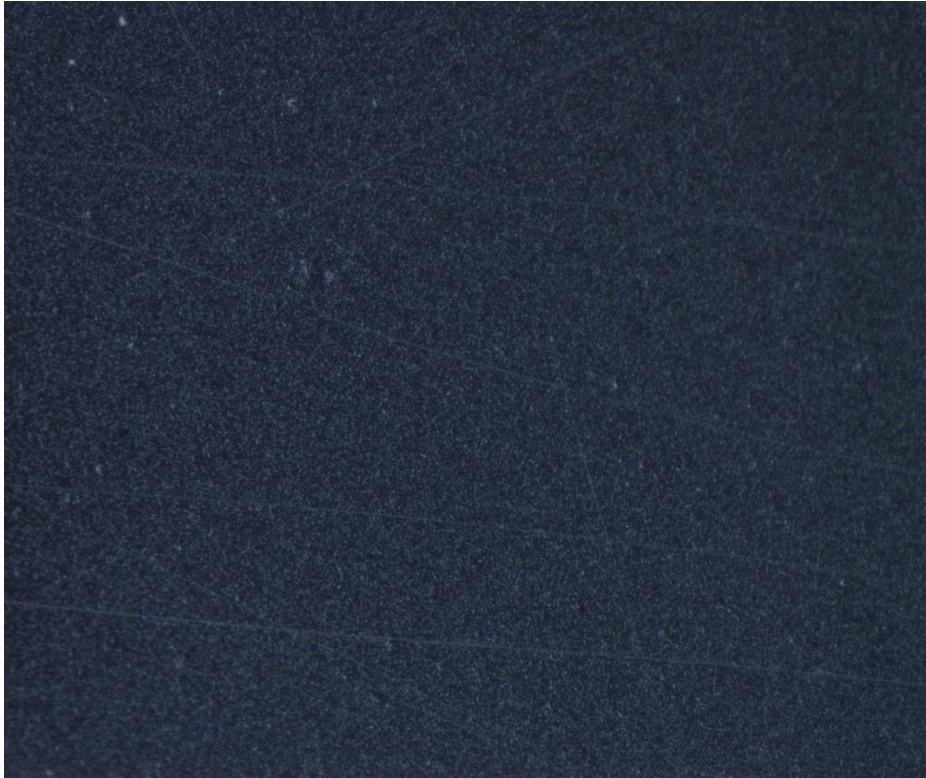
Fonte: O Autor

Figura 27: Superfície da peça antes do tratamento com plasma



Fonte: O Autor

Figura 28: Superfície da peça após o tratamento com plasma



Fonte: O Autor

7.2.5 Teste de aderência

Após a gravação e completa secagem da tinta na peça gravada é realizado um teste para comprovar a eficiência do tratamento superficial da peça. No qual é feito através da fita adesiva 3M Scotch 810, onde a mesma é colada em cima da gravação e após a colagem total da fita, ela é retirada bruscamente. Com esse teste é possível validar se a aderência da tinta na peça está efetivamente boa ou não. Para ser realizado o teste, a peça gravada deve permanecer armazenada por 24 horas, para que a tinta possa secar completamente na superfície da peça plástica, porém para acelerar o processo de catalisação da tinta, a peça é colocada em uma estufa a 80°C durante uma hora. Dessa forma a tinta já está na fase final da catalisação, tornando possível a realização do teste de aderência com uma probabilidade muito baixa de erro.

Para os dois processos analisados, foram feitos os testes de aderência com a fita adesiva 3M, e ambos os meios de tratamento superficial apresentaram boa confiabilidade, devido ao fato de não soltar a gravação na fita. Mas isso somente é possível se todos os parâmetros das máquinas estiverem regulados, como por exemplo: Avanço do tampão até o clichê ou até a peça, posição do tampão, posição da peça a ser gravada, avanço do clichê, entre outros.

Figura 29: Peça boa após o teste de aderência



Fonte: O Autor

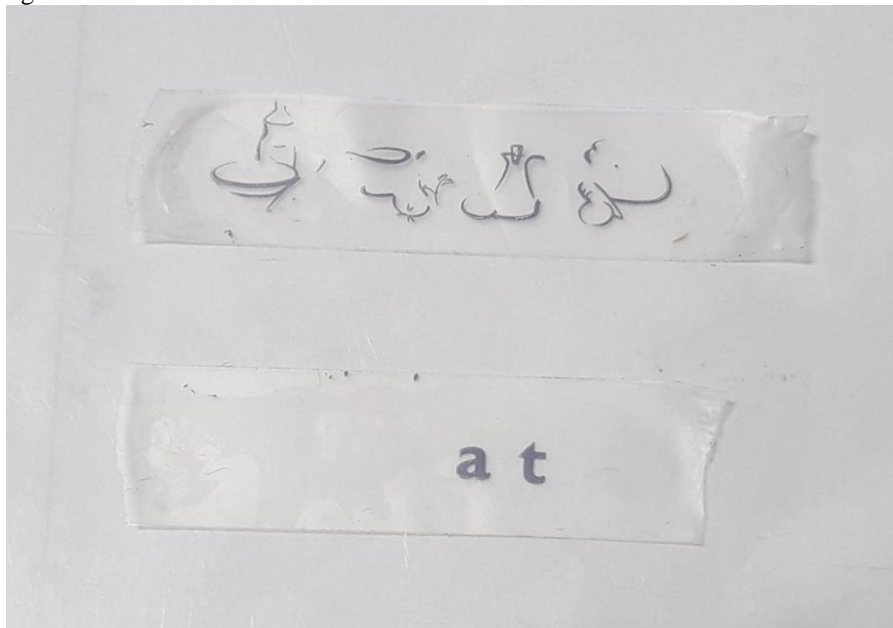
Figura 30: Peça falhada após o teste de aderência



Fonte: O Autor

Caso o tratamento superficial não esteja eficaz, a tinta se solta no teste de aderência realizado com a fita 3M, onde a mesma ficará presa na cola da tinta. Esse teste é de simples realização e de fácil visualização por parte da pessoa que está realizando-o, pois quando a gravação se solta fica visivelmente na fita usada.

Figura 31: Fita usada no teste de aderência



Fonte: O Autor

7.2.6 Limpeza dos componentes

A limpeza é feita com uma flanela úmida com o solvente B120. Para o tampão, a limpeza é feita massageando o mesmo para que consiga retirar todas as impurezas presentes em sua superfície, vale lembrar se caso o tampão for novo, a limpeza em forma de massagem

no mesmo com o solvente é muito importante para retirar o óleo em excesso usado em sua fabricação, pois o óleo é um contaminante que quando está sobre a superfície do tampão, dificulta na coleta e transferência da tinta.

No copo a limpeza se inicia com a retirada do excesso de tinta do seu interior, sendo descartada em local adequado, posteriormente é retirada toda a tinta faltante com uma flanela molhada com o solvente B120, podendo inclusive colocar o solvente diretamente dentro do copo para facilitar a diluição da tinta. Toda a superfície do copo deve ser limpa, inclusive o anel raspador, local no qual é muito importante a limpeza, pois o acúmulo recorrente de tinta nessa região poderá proporcionar uma pequena folga entre o copo e o clichê dentro da máquina e conseqüentemente o vazamento da tinta.

No clichê a limpeza também se inicia com a flanela umedecida, usada para retirar todo o excesso de tinta que está presente no clichê. Após a retirada de toda a tinta do clichê, deve ser usada uma folha de papel macio, também umedecido com o solvente B120, o objetivo de usar o papel para finalizar a limpeza, é simplesmente porque o pano pode deixar resíduos da linha na gravação da arte do clichê que está em baixo relevo, e essa contaminação influenciará posteriormente na deposição da tinta. No término da limpeza do clichê, deve ser usado o protetor Syntec SPM 990, evitando a oxidação do clichê, além do uso do protetor o clichê deve ser ensacado para não ser contaminado com impurezas.

8 RESULTADOS

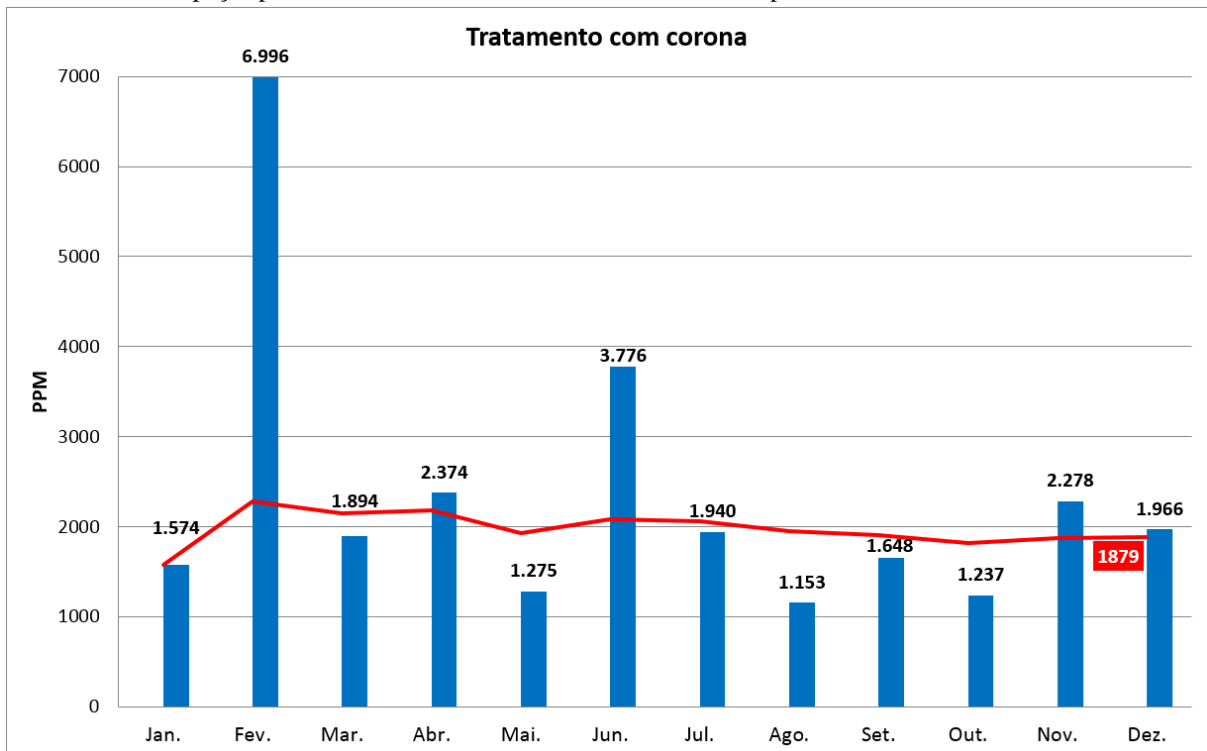
Com o estudo teórico, os testes práticos realizados no decorrer desse trabalho e a coleta dos dados das máquinas que utilizam o corona e o plasma como tratamento superficial em peças plásticas, foi possível analisar o índice de defeitos em cada tratamento. Para facilitar a comparação dos dados coletados nas duas máquinas, todos os dados foram analisados em PPM (partes por milhão), de forma que generalize e deixe mais claro o resultado das análises.

8.1.1 Tratamento superficial com corona

Com os dados coletados conforme o quadro 8, foi realizado um estudo comparativo de todos os meses do ano de 2017, nos quais as peças foram produzidas utilizando o tratamento superficial por corona, conforme demonstrado no gráfico 2, abaixo.

Após a comparação notou-se um alto índice de defeitos em todos os meses, sendo que em alguns meses o índice era muito maior que o total acumulado, no qual está representado pela linha vermelha, finalizando com um valor de 1879 ppm no final do estudo.

Gráfico 2: Índice peças produzidas x defeitos utilizando o tratamento superficial corona



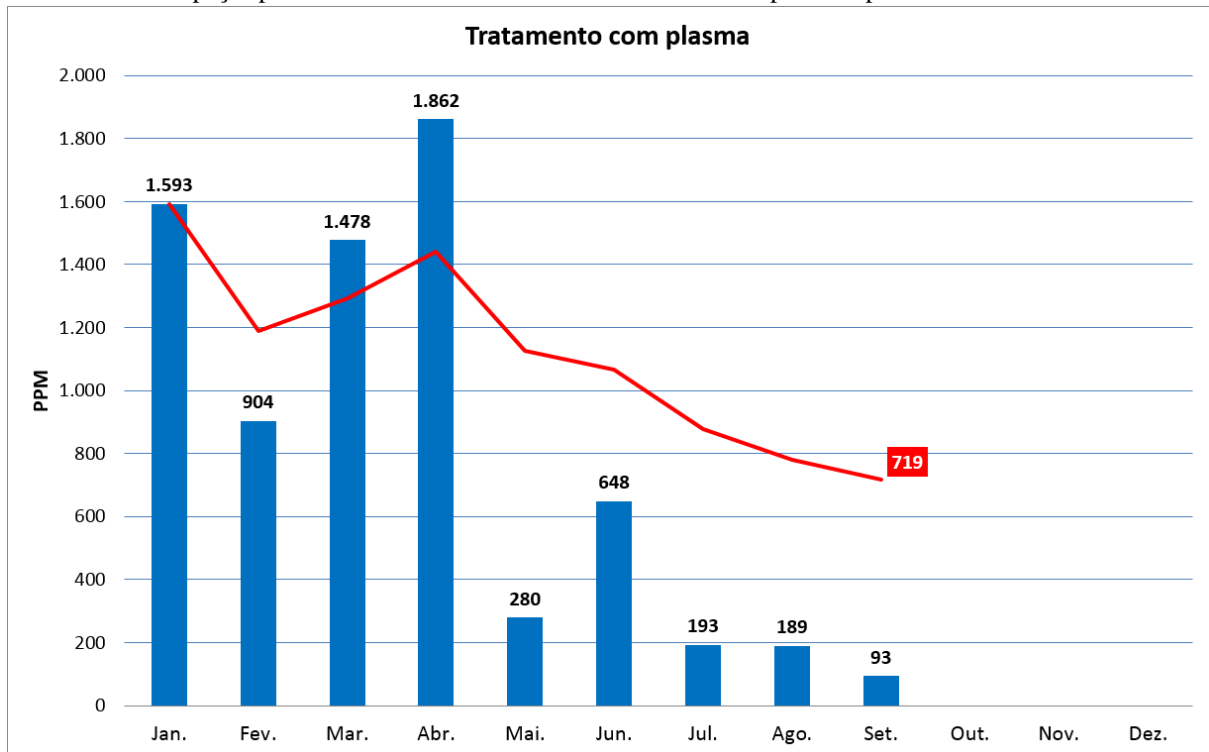
Fonte: O Autor

8.1.2 Tratamento superficial com plasma

Para o estudo com o tratamento superficial por plasma, foram levantados os mesmos dados que o tratamento superficial por corona, levando em consideração os mesmos parâmetros de medição, conforme pode ser visto no quadro 9 apresentado anteriormente.

O início do estudo foi realizado a partir do começo do ano de 2018, sendo realizado durante nove meses, nos quais, nos quatro primeiros meses o processo estava em fase de estabilização, pois a máquina tinha sido adquirida a poucas semanas, sendo assim estava passando por ajustes até que foi definido o valor ideal dos parâmetros da máquina. É possível perceber esse período no gráfico 3 abaixo, pois enquanto a máquina estava sendo ajustada para o processo de gravação, o índice de defeitos foi considerável, porém após o processo ficar estável, notou-se uma queda brusca no índice de defeitos, caindo também a linha do total acumulado, na qual tende a seguir em queda, conforme demonstrada pela linha em vermelho.

Gráfico 3: Índice peças produzidas x defeitos utilizando o tratamento superficial plasma



Fonte: O Autor

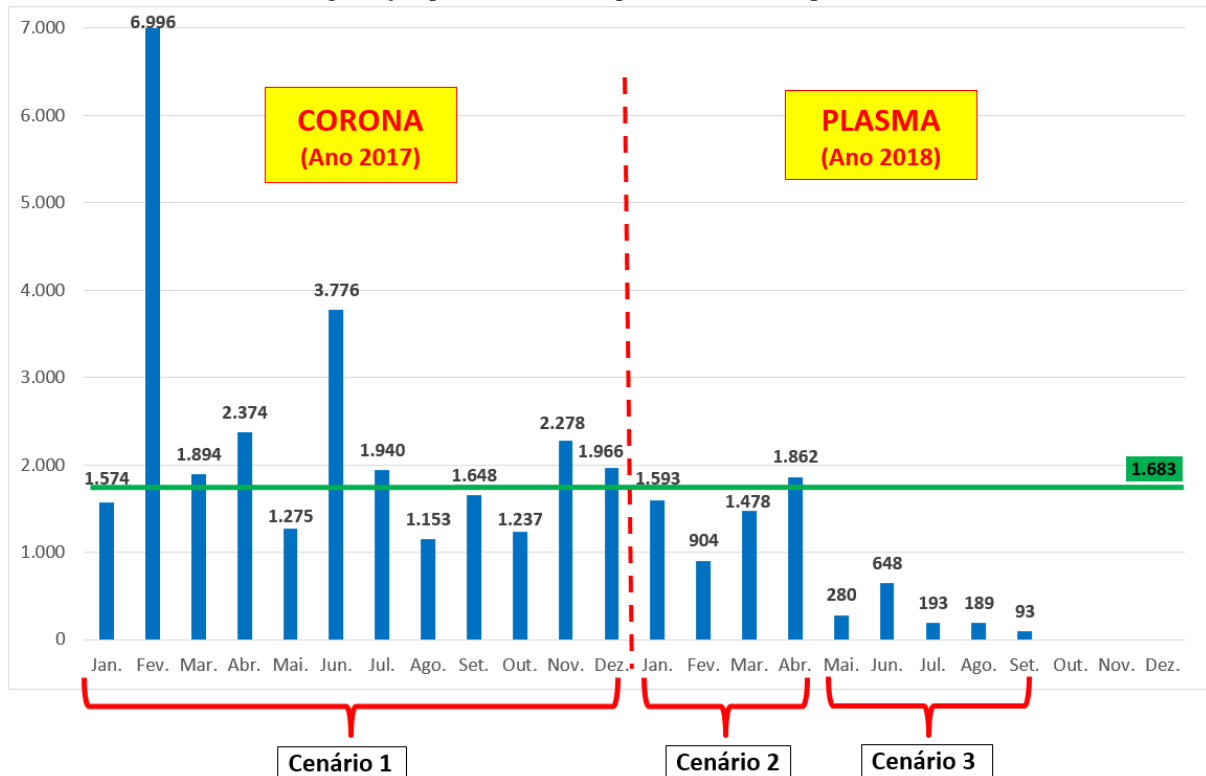
8.1.3 Comparação dos tratamentos corona x plasma

Comparando os dados coletados dos dois tratamentos superficiais foi possível notar que o plasma teve um menor índice de peças com defeito. Mesmo no início da máquina que

utiliza o tratamento com plasma precisar passar por ajustes até a estabilização, esse tratamento apresentou um número menor de defeitos do que o tratamento por corona. E conforme pode ser visto nos gráficos 2 e 3, a linha do total acumulado no tratamento por corona está estável e não tende a diminuir o seu valor, já no tratamento superficial por plasma, o total acumulado sofreu uma queda nos últimos cinco meses (cenário 3) e a tendência é que ela diminua ainda mais.

Abaixo está o gráfico comparando os dois processos de tratamento superficial, levando em consideração os mesmos parâmetros dos gráficos anteriores. É fácil observar que houve uma queda no índice de defeitos quando iniciou o processo de tratamento superficial por plasma, no qual teve um desempenho melhor até quando o processo não estava totalmente estável (cenário 2). No cenário 1 representa todo o ano de 2017 onde foi gravada peças utilizando somente o tratamento superficial por corona, o cenário 2 representa o início das gravações utilizando o tratamento por plasma, porém a máquina ainda não estava com os parâmetros definidos, por isso o alto índice de defeito se comparado ao cenário 3, onde a máquina já estava completamente estável. A linha verde representa a média do índice de defeitos desse gráfico, podendo notar que o tratamento superficial por plasma ultrapassou essa linha somente uma vez, já o tratamento superficial por corona ultrapassou sete vezes.

Gráfico 4: Índice de falhas de gravação por tratamento superficial corona x plasma



Fonte: O Autor

9 CONCLUSÃO

Após todo o estudo teórico dos diferentes processos de tratamento superficial em peças plásticas antes da gravação por tampografia realizado durante a execução desse trabalho e o acompanhamento de testes feitos comparando dois modelos de processos diferentes, o corona e o plasma, sendo usados em uma mesma geometria da peça, foi possível concluir que o tratamento superficial em peças plástica, se faz absolutamente necessário, quando aplicável, levando em consideração o material de fabricação da peça e sua estrutura cristalina. Para os materiais que não possuem estrutura química para uma absorção ideal de compostos líquidos como a tinta da gravação tampográfica, se torna impossível o processo de gravação sobre suas superfícies, devido ao fato da tinta não aderir sobre o material. Esse problema se dá ao fato da tinta não conseguir romper sua tensão superficial e com isso a mesma escorre sobre a peça ou criam-se gotículas de tinta, que são facilmente retiradas se entrarem em contato com qualquer outra superfície, além da gravação ficar completamente deformada.

Relacionado a comparação dos dois diferentes processos de tratamento superficial, o corona e o plasma, levando em consideração todos os pontos anteriormente destacados como: defeitos na gravação, falta de aderência, riscos e marcas na peça derivadas do tratamento da superfície e após a análise de todos os dados levantados com os testes práticos, é plausível concluir que o tratamento superficial de peças plásticas por plasma para a preparação da superfície antes do processo de gravação por tampografia é mais eficiente que o tratamento por corona para a peça estudada nesse trabalho. Tendo em vista toda a comparação realizada na coleta e análise dos dados, nos quais foi possível notar uma melhora no índice de defeitos no processo de gravação assim que houve o início da máquina de gravação por tampografia que utiliza o plasma como tratamento superficial.

REFERÊNCIAS

- 3M do Brasil LTDA. **Fita Mágica Scotch 810**, Sumaré, SP, 2 f, Jan 2008.
- ADAMSON, A. W. GAST, A. P. **Physical chemistry of surfaces**. 1997. 190 f. California, United States. Publishing company Wiley-Interscience. 6ª Edition. 1997.
- ANASTÁCIO, M. O. **Segurança do trabalho em máquina tampográfica numa empresa de gravações técnicas**. 2015. 61 f. Dissertação (Mestrado Engenharia Mecânica). Taubaté, SP: Universidade de Taubaté, 2015.
- ARAÚJO, V. F. **Tratamento superficial de filmes co-extrudados de PE por descarga corona para adesão de tintas de impressão flexográfica**. 2011. 63 f. Dissertação (Tecnólogo em Produção de Plásticos). São Paulo, SP: Faculdade de Tecnologia da Zona Leste, 2011.
- AWAJA, F. Autohesion of polymers. Separata de: **Polymer**. Austria: Elsevier, v. 97, p. 387-407, 2016.
- AWAJA, F.; GILBERT, M.; KELLY, G.; FOX, B.; PIGRAM, P. Adhesion of polymers. Separata de: **Progress in Polymer Science**. Australia: Elsevier, v. 34, p. 948-968, 2009.
- BRASIL. Ministério do Trabalho. **NBR 11003**: Tintas - Determinação da aderência. Brasília, 2009.
- CALADO, R. D. **Aplicação de conceitos de manufatura enxuta no processo de injeção e tampografia de peças plásticas**. 2006. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Campinas, SP: Universidade Estadual de Campinas, 2006.
- CARNEIRO, M. P. **Caracterização das propriedades de superfície de filmes de polipropileno tratados com descarga corona**. 2001. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Campinas, SP: Universidade Estadual de Campinas, 2001.
- COSTA, A. C. **Modificação de superfície de polietileno de alta e de baixa densidade**. 1982. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Campinas, SP: Universidade Estadual de Campinas, 1982.
- COTEC. Endurecedor 2. **Ficha de Segurança de Produto Químico em acordo com NBR-14725:2014 e 91/155/EEC**, São José dos Campos, SP, 6 f, 01 mar. 2018.
- COTEC. Solvente 4. **Ficha de Segurança de Produto Químico em acordo com NBR-14725:2014 e 91/155/EEC**, São José dos Campos, SP, 6 f, 01 fev. 2018.
- COTEC. SolvStar 2C. **Ficha de Segurança de Produto Químico em acordo com NBR-14725:2014**, São José dos Campos, SP, 6 f, 17 abr. 2018.
- DENES, F. S.; MANOLACHE, S. Macromolecular plasma-chemistry: an emerging field of polymer science. Separata de: **Progress in Polymer Science**. United States: Elsevier, v. 29, p. 815-885, 2004.

- ISRAELACHVILI, J. N. **Intermolecular and surfaces forces**. 2011. 706 f. University of California. California, United States. Publishing company Elsevier. 3^a Edition. 2011.
- KENT STUTTGART GMBH. **Pad printing in theory and practice**. Stuttgart, Germany. 2017. 40 f.
- LOUZI, V. C. A. **Estudo do efeito do tratamento corona aplicado a monofilamentos de polímeros sintéticos**. 2015. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Campinas, SP: Universidade Estadual de Campinas, 2015.
- MANO, E. B.; MENDES, L. C. **Introdução a polímeros**. 1999. 208 f. Rio de Janeiro, Brasil. Editora Edgard Blucher. 2^a Edição. 1999.
- MEDEIROS, E. **Avaliação do efeito do tratamento de superfície por flambagem sobre adesão de revestimentos em substrato de polipropileno**. 2017. 83 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciências Mecânicas). Joinville, SC: Universidade Federal de Santa Catarina, 2017.
- MICROPRINT. **The pad printing book**. Schaffhausen, Switzerland. 2017. 92 f.
- OSCAR FLUES. Solvente B120. **Ficha de Informações de Segurança de Produto Químico**, São Paulo, SP, 7 f, mar. 2005.
- PROLL. **Pad Printing – Theory and practice**. Weissenburg in Bayern, Germany. 2018. 38 f.
- SELLIN, N. **Análise da superfície de polímeros pós-tratamento corona**. 2002. 125 f. Dissertação (Doutorado Engenharia Química). Campinas, SP: Universidade Estadual de Campinas, 2002.
- SEMMIL TAMPOGRAFIA. **Pré-Tratamento**. São Paulo, 2018. Disponível em: <<https://http://www.semmil.com.br/tratamento-corona-flamagem.html>>. Acesso em: 29set. 2018.
- SENA, H. C. **Efeitos da descarga corona em superfície de polipropileno em temperatura ambiente e acima**. 2011. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Campinas, SP: Universidade Estadual de Campinas, 2011.
- TAMPOPRINT. **Pad printing training manual**. Korntal-Münchingen, Germany. 2018. 63 f.
- TECA-PRINT. **Plates for pad printing**. Thayngen, Switzerland. 2018. 20 f.
- TECA-PRINT. **The pad printing process**. Thayngen, Switzerland. 2018. 9 f.
- VILANI, C. **Modificação superficial por plasma de rádio-frequência de membranas de poliuretano para pervaporação de misturas metanol/MTBE**. 2006. 176 f. Dissertação (Doutorado em Ciências em Engenharia Química). Rio de Janeiro, RJ: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.
- ZISMAN, W. A. **Relation of the Equilibrium Contact Angle to Liquid and Solid Constitution**. 1964. 51 f. Washington, United States: U.S. Naval Research Laboratory. 1964.