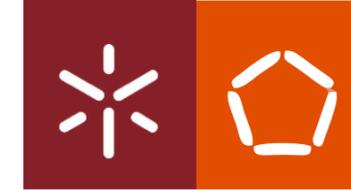




Cristiana Isabel Pinheiro Pereira

**Estudo da variação da espessura de tinta
em peças plásticas**

Universidade do Minho
Escola de Engenharia





Universidade do Minho
Engenharia de Polímeros

Cristiana Isabel Pinheiro Pereira

**Estudo da variação da espessura de tinta em
peças plásticas**

Tese de Mestrado

Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao Grau de
Mestre em Engenharia de Polímeros

Trabalho efetuado sob orientação do

Professor Fernando Moura Duarte

Setembro de 2016

Declaração

Nome: Cristiana Isabel Pinheiro Pereira

Endereço eletrónico: cristiana_pinheiro_pereira@hotmail.com

Telefone: 917809791

Número do Cartão do cidadão: 14216796

Título da dissertação /tese: Estudo da variação da espessura de tinta em peças plásticas

Orientador(es): Professor Fernando Moura Duarte

Ano de conclusão: 2016

Designação do Mestrado ou do Ramo de Conhecimento do Doutoramento: Mestrado Integrado em Engenharia de Polímeros

DE ACORDO COM A LEGISLAÇÃO EM VIGOR, NÃO É PERMITIDA A REPRODUÇÃO DE QUALQUER PARTE DESTA TESE/TRABALHO.

Universidade do Minho, ___/___/_____

Assinatura: _____

Agradecimentos

Findada a dissertação não posso deixar de agradecer àqueles que sempre me apoiaram e auxiliaram em todos os momentos.

Em primeiro lugar, quero agradecer à Delphi Automotive Systems pela oportunidade concedida em realizar o projeto nas suas instalações, fornecendo-me todas as condições necessárias para a realização do mesmo.

Ao meu orientador da Universidade do Minho, Professor Doutor Fernando Moura Duarte, por todo o apoio, disponibilidade e auxílio prestado no decorrer do estágio.

À minha orientadora da empresa, Engenheira Arminda Gomes, por todo o apoio, dedicação, disponibilidade e auxílio prestado ao longo do estágio. Agradeço também o companheirismo demonstrado e o acompanhamento ao longo destes seis meses.

Agradeço também o apoio e auxílio prestado pelo meu co-orientador, Orlando Azevedo, assim como a todos os restantes colaboradores da empresa pelo modo como me receberam e auxiliaram, fazendo com que me integrasse rapidamente à empresa. À equipa da qualidade, com quem passei grande parte do tempo por toda a amizade e auxílio prestado no decorrer deste estágio. Aos colaboradores da área de pintura, Paulo, Filipe e José por toda a disponibilidade e auxílio prestado no decorrer do projeto.

Ao Engenheiro Maurício Malheiro e à Professora Carla Martins, responsáveis pelo laboratório de Microscopia por toda a ajuda e ensinamentos transmitidos no decorrer do projeto. À professora Maria Conceição Paiva pelo auxílio prestado na resolução de um problema.

Aos meus amigos em geral e em particular aos que também realizaram a dissertação na Delphi, Melisa e Miguel, pela ajuda e amizade demonstrada no decorrer do estágio.

À minha família e namorado agradeço todo o apoio, auxílio e incentivo dado no desenvolvimento deste projeto.

A todos o meu muito obrigada!

Resumo

O presente relatório descreve o trabalho desenvolvido na empresa DELPHI AUTOMOTIVE SYSTEMS PORTUGAL, no âmbito da Dissertação de Mestrado em Engenharia de Polímeros. O trabalho consistiu na realização de um estágio curricular, em ambiente industrial, com a duração de cerca de seis meses cujos principais objetivos são: i) estudo da variação de espessura de tinta nas peças plásticas a fim de estabelecer relação entre a espessura da tinta obtida nos elementos de controlo e nas peças plásticas; ii) estudo da influência das variáveis operatórias na distribuição de espessura.

Numa primeira fase, começou-se por definir a metodologia seguida no estudo das peças produzidas e pintadas na empresa com o intuito de estudar a variação da espessura de tinta nas peças ao longo da produção de um lote de pintura. Numa fase posterior, estudou-se a influência das variáveis operatórias na variação de espessura de tinta. Para isso, começou-se por verificar quais as variáveis operatórias mais influentes no processo de pintura a fim de definir as condições de pintura necessárias para estudar a influência da sua interação na variação de espessura de tinta.

Para realizar o estudo, começou-se por medir a espessura de tinta nas peças plásticas e nos elementos de controlo com o medidor de espessura existente na empresa. Depois, mediu-se a espessura de tinta nas peças plásticas com o Microscópio Ótico existente na Universidade do Minho. A técnica de microscopia utilizada para medição de espessura de tinta foi a Microscopia de Reflexão com Contraste de Interferência Diferencial (DIC).

Após a realização do estudo da variação de espessura de tinta nas peças plásticas verificou-se que a espessura de tinta nas peças plásticas medida com o medidor de espessura é mais elevada do que a espessura de tinta nos elementos de controlo. A espessura de tinta nas peças plásticas apresenta maior variação e valores mais elevados quando se efetuam as medições com o medidor de espessura do que quando se utiliza o Microscópio Ótico, o que permite concluir que a variação de espessura de tinta obtida nos elementos de controlo é muito semelhante à variação de espessura de tinta nas peças plásticas quando se utiliza o Microscópio Ótico para efetuar as medições de espessura de tinta.

Em relação ao estudo onde se prevê o efeito das variáveis operatórias no processo de pintura verifica-se que apenas se conseguem obter peças com a espessura de tinta dentro de especificação quando se utiliza uma correta relação entre a *Atomização*, o *Fan Pressure* e o *Flow-Rate*.

Por fim, definiram-se os trabalhos futuros que poderão ser desenvolvidos no âmbito deste tema.

Palavras-chave: Variação de espessura de tinta, Relação, Variáveis Operatórias, Condições de Pintura, Elemento de Controlo

Abstract

This report describes the work in the company DELPHI AUTOMOTIVE SYSTEMS PORTUGAL, within the Master's Thesis in Polymer Engineering. The work consisted of a traineeship in industrial environment, lasting about six months whose main objectives are: i) study of the variation of thickness of paint on plastic parts in order to establish the relationship between the thickness of the obtained ink the control elements and the plastic parts; ii) study of the influence of operational variables in the distribution of ink thickness.

Initially, it was first set the methodology followed in the study of the parts produced and painted in the company in order to study the variation of the thickness of paint on parts throughout the production of a lot of painting. At a later stage, he studied the influence of operational variables in variation of ink thickness. For this, it was first check what the most influential operative variables in the painting process in order to define the necessary painting conditions to study the influence of their interaction on the variation of ink thickness.

For the study, it was started by measuring the thickness ink on plastic parts and control elements with the existing thickness gauge in the company. Then he measured the ink thickness on plastic parts with Microscope Optical existing at the University of Minho. The microscopy technique for measuring ink thickness was Reflection Microscopy Differential Interference Contrast (DIC).

After the study of the variation in ink thickness on plastic parts it was found that the ink thickness on plastic parts measured with the thickness gauge is higher than the ink thickness in which indicates that the variation in ink thickness obtained in the control elements is very similar to the variation in ink thickness on plastic parts when using the Optical Microscope to perform the t measurements of ink thickness.

Regarding the study which provides the effect of operational variables in the painting process verifies that only able to obtain parts with the ink thickness within specification when using a correct relationship between the atomization, the Fan Pressure and Flow- Rate.

Finally, we defined the future work that may be developed under this theme.

Keywords: variation of ink thickness; Relation; Operative Variables; Paintind Conditions; Control Element

Índice

Declaração	ii
Agradecimentos	iv
Resumo	v
Abstract	vi
Índice	vii
Índice de Figuras	ix
Índice de Tabelas	xii
Abreviaturas	xiii
Glossário	xiv
Capítulo 1	xv
1.1. A Empresa	16
1.2. Pintura de peças em plástico	23
1.3. Motivações e Objetivos	24
1.4. Organização do trabalho	25
Capítulo 2	27
2.1. O Processo de Pintura	28
2.2. Métodos de aplicação de tinta	30
2.3. Variáveis operatórias no processo de pintura	34
2.4. Principais Defeitos	35
2.5. Composição de tintas	38
2.6. Influência da peça no processo de pintura	41
Capítulo 3	43
3.1. A área de pintura na Delphi	44
3.2. O Equipamento de pintura na Delphi	45
3.3. Validação do Setup de pintura	46
3.4. Medição do tempo de escoamento da tinta	47
3.5. Medição da espessura de tinta	49
Capítulo 4	51
4.1. Seleção das peças	52
4.2. Procedimento Experimental	55
4.2.1. Preparação das peças	55
4.2.2. Definição das condições de pintura	57
4.3. Medição da espessura de tinta pelo equipamento	64

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

4.3.1. Preparação das amostras.....	64
4.3.2. Metodologia de medição.....	64
4.4. Medição da espessura de tinta por microscopia ótica.....	65
4.4.1. Preparação das amostras.....	65
4.4.2. Metodologia de medição.....	66
Capítulo 5.....	73
5.1. Efeito das variáveis operatórias.....	74
5.2. Efeito das variáveis operatórias.....	75
5.3. Espessura de tinta: medição com aparelho e microscopia ótica	76
5.2.1. Botão Eject VW MIB.....	76
5.2.2. Botões <i>Porsche</i>	85
5.2.3. Lentes <i>Volvo HUD</i>	97
5.4. Efeito do Flash-Off na espessura de tinta.....	104
5.4.1. Botões <i>Porsche</i>	104
5.4.2. Lentes <i>Volvo HUD</i>	104
Capítulo 6.....	107
Conclusão	108
Trabalhos Futuros.....	110
Bibliografia	111
ANEXOS	113

Índice de Figuras

Figura 1-Absolutos de excelência	16
Figura 2- Fábrica Delphi	17
Figura 3- Unidade fabril da Delphi	18
Figura 4- Exemplo de um <i>jig</i> e de uma rede onde são carregados os botões e as redes, respetivamente	19
Figura 5- Carrinho de pintura	19
Figura 6- Fluxo percorrido pelas peças na zona de carregamento.....	20
Figura 7- Fluxo percorrido pelos produtos até ao cliente final	21
Figura 8- Planta fabril do edifício 2 [5]	22
Figura 9-Alguns dos produtos produzidos na Delphi Automotive	22
Figura 10-Fluxo percorrido pelos produtos até ao cliente final	23
Figura 11- Evolução do uso de materiais plásticos em veículos (Monaro, Lima, & Tonetti)	23
Figura 12- Fatores que influenciam a qualidade final de um revestimento de pintura (Goldschmidt & Streitberger, 2007)	28
Figura 13- Diagrama do percurso da tinta na utilização do <i>Airless Spray</i>	32
Figura 14-Percurso das gotículas de tinta carregadas a envolver a peça a pintar (McKeen, 2016)	33
Figura 15- Intervalo de Eficiência de transferência para os vários métodos de aplicação de tinta. (Reference Module in Materials Science and Materials Engineering, 2010).....	33
Figura 16- Blenda do MIB produzida com um botão não conforme	37
Figura 17- Dispersão dos pigmentos na tinta (Houck & Siegel, 2015).....	38
Figura 18- Molhabilidade entre uma superfície polimerica e uma tinta à base de água (a) e uma tinta à base de solvente (b) (Izdebska, 2016)	40
Figura 19- Influência da temperatura na viscosidade da tinta (StudioLaser, 2015).....	40
Figura 20- Folha de tinta líquida expelida por uma pistola de pulverização sem ar (Gary S. Settles, 2015)	41
Figura 21- Fluxo percorrido pelas peças no processo de pintura.....	45
Figura 22- Exemplo de um <i>jig</i> usado na validação de um <i>setup</i>	47
Figura 23- Copo DIN 4	48
Figura 24-Medidor de espessura Positector <i>6000</i>	50
Figura 25- Principais etapas da componente experimental	52
Figura 26- Peças selecionadas para estudar no presente trabalho.....	53
Figura 27- Blenda VW MIB montada, com identificação do botão a estudar	53
Figura 28- Blenda Porsche montada, com identificação dos botões a estudar	53
Figura 29- <i>Jig SB2</i> carregado com os botões Porsche.....	54
Figura 30- Principais dimensões do botão <i>EJECT VW MIB</i>	54
Figura 31- Esquema com as principais dimensões dos Botões SOURCE, PHONE, CAR e INFO, respetivamente.	55
Figura 32- Desenho técnico da lente <i>VOLVO HUD</i>	55
Figura 33-Elemento metálico utilizado para revestir as peças plásticas.....	56
Figura 34- Botão Eject VW MIB revestido com o elemento metálico.....	56
Figura 35- Botões SOURCE, PHONE, CAR, INFO revestidos com o componente metálico, respetivamente	56
Figura 36- Lente <i>VOLVO HUD</i> revestida com o componente metálico	57
Figura 37- Disposição dos botões <i>Eject VW MIB</i> com revestimento metálico num <i>jig</i>	58

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

Figura 38- Distribuição dos jigs contendo os botões <i>Eject VW MIB</i> numa rede, com destaque para os jigs a estudar	59
Figura 39- Disposição dos botões Porsche num <i>jig</i> , com identificação das peças a estudar	59
Figura 40- Distribuição dos jigs que contêm os botões Porsche numa rede, com destaque para os jigs a estudar	60
Figura 41- Distribuição das lentes VOLVO HUD na rede de pintura.....	60
Figura 42- Carrinho onde se carregam as redes para serem pintadas	61
Figura 43- Disposição do <i>jig</i> na rede, com destaque para as peças a estudar a espessura de tinta	63
Figura 44- Medição de espessura de tinta com o calibre	64
Figura 45- Preparação das amostras	65
Figura 46- Lente Volvo HUD com identificação das áreas a cortar para a preparação das amostras.....	66
Figura 47- Identificação das áreas onde se efetuam as medições de espessura de tinta no Botão <i>Eject</i> ..	67
Figura 48- Botões Porsche com identificação das áreas onde se efetua a medição de espessura de tinta	67
Figura 49- Lente Volvo HUD com identificação das zonas a medir a espessura de tinta	68
Figura 50- Imagem da análise microscópica a uma amostra do Botão MIB	69
Figura 51- Imagem da análise microscópica a uma amostra do Botão MIB, com as medições de espessura de tinta efetuadas.....	69
Figura 52- Imagem microscópica da superfície revestida com tinta	70
Figura 53- Imagem da superfície pintada contendo as medições de espessura de tinta efetuadas	70
Figura 54- Imagem da análise por Microscopia de Transmissão à lente <i>Volvo HUD</i>	71
Figura 55- Imagem da análise por Microscopia de Transmissão à lente <i>Volvo HUD</i> , com as medições de espessura.....	71
Figura 56- Imagem retirada da análise microscópica a uma lente <i>Volvo HUD</i>	72
Figura 57- Imagem microscópica com as medições de espessura de tinta na lente Volvo HUD.....	72
Figura 58- Espessura de tinta obtida nos botões para cada condição de pintura.....	75
Figura 59- Espessura de tinta medida nos elementos de controlo ao longo do processo de pintura.....	77
Figura 60- Variação de espessura de tinta no jig alocado na posição extrema [1] ao longo da produção de um lote de pintura	78
Figura 61- Variação de espessura de tinta no jig posicionado na zona central [2] da rede ao longo da produção de um lote de pintura	79
Figura 62- Variação de espessura de tinta no jig alocado na posição extrema [3] ao longo da produção de um lote de pintura	80
Figura 63- Espessura de tinta obtida nas peças plásticas e nos elementos de controlo na produção de um lote de pintura	81
Figura 64- Variação da espessura média de tinta nos elementos de controlo e nas peças plásticas no processo de pintura	82
Figura 65- Variação da espessura de tinta no Botão <i>Eject VW MIB</i> e no elemento de controlo.....	83
Figura 66- Variação da espessura de tinta no Botão <i>Eject VW MIB</i> e no elemento de controlo no processo de pintura.....	84
Figura 67- Variação do tempo de escoamento da tinta no processo de pintura do Botão <i>Eject VW MIB</i> ...	85
Figura 68- Variação da espessura de tinta nos elementos de controlo ao longo do processo de pintura ..	86
Figura 69- Variação da espessura de tinta nos botões que se encontram alocados na posição extrema [1] ao longo do processo de pintura.....	87
Figura 70- Variação da espessura de tinta nos botões que se encontram alocados na posição central [2] ao longo do processo de pintura.....	88
Figura 71- Variação da espessura de tinta nos botões que se encontram alocados na posição extrema [3] ao longo do processo de pintura.....	89

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

Figura 72- Variação da espessura de tinta numa rede ao longo do processo de pintura	90
Figura 73- Variação da espessura de tinta nas peças plásticas e nos elementos de controlo ao longo do processo de pintura	91
Figura 74- Variação da espessura de tinta no Botão SOURCE e nos elementos de controlo no processo de pintura.....	92
Figura 75- Variação da espessura de tinta no Botão <i>PHONE</i> e nos elementos de controlo no processo de pintura.....	93
Figura 76- Variação da espessura de tinta no Botão <i>HOME</i> e nos elementos de controlo no processo de pintura.....	94
Figura 77- Variação da espessura de tinta no Botão <i>CAR</i> e nos elementos de controlo no processo de pintura.....	95
Figura 78-Variação da espessura de tinta obtida em cada um dos botões Porsche e nos elementos de controlo	96
Figura 79-Variação do tempo de escoamento da tinta ao longo do processo de pintura dos Botões <i>Porsche</i>	96
Figura 80- Espessura de tinta obtida nos elementos de controlo no processo de pintura	97
Figura 81- Variação da espessura de tinta média numa rede ao longo do processo de pintura.....	98
Figura 82- Variação da espessura de tinta na amostra 1 e no elemento de controlo	99
Figura 83-Variação de espessura de tinta na amostra 2 e no elemento de controlo	100
Figura 84- Variação de espessura de tinta na amostra 3 e no elemento de controlo	101
Figura 85- Variação de espessura de tinta na lente Volvo HUD e no elemento de controlo no processo de pintura.....	102
Figura 86- Variação do tempo de escoamento da tinta no processo de pintura das lentes <i>Volvo HUD</i>	103
Figura 87- Influência do tempo de <i>flash-off</i> na espessura de tinta nas peças plásticas	104
Figura 88- Influência do tempo de <i>Flash-off</i> na espessura de tinta das peças plásticas	105
Figura 89- Metodologia seguida na preparação de amostras para análise ao Microscópio de Transmissão	123

Índice de Tabelas

Tabela 1- Principais características das tintas utilizadas no processo de pintura.....	49
Tabela 2- Condições de pintura	63

Abreviaturas

Bar- barómetro

COV- Compostos Orgânicos Voláteis

HVLP –High Volume Low Pressure Spray Application

Radiação IR- Radiação Infravermelho

MPa- Megapascal

PC- Policarbonato

UV- Ultra violeta

VW- Volkswagen

kg/cm-quilograma por centímetro

kV- quilovolts

m/min- metros por minuto

ml- mililitro

mm- milímetro

mm/min- milímetro por minuto

s- segundo

—
X - Valor médio

µm- micrómetro

Glossário

Eficiência de transferência de pulverização- representa, em percentagem, a quantidade de material que adere ao substrato em comparação com a quantidade de material que foi pulverizado na direção da peça. (McKeen, 2016)

Flash-off- corresponde ao tempo de secagem das peças ao ar antes de iniciar o processo de secagem nas estufas.

Jigs- suportes onde as peças de pequena dimensão são colocadas na posição correta para que sejam pintadas da forma pretendida e evitando que estas se movimentem durante a pintura, afetando a qualidade das mesmas.

Overspray- refere-se às gotículas de nevoeiro de tinta pulverizadas finamente na superfície ou que não são totalmente absorvidas pela camada de tinta.

Refugo- peças produzidas que não cumprem a especificação e, por isso, não podem ser enviadas ao cliente. Peças *nok* que serão recicladas.

Visual check- teste visual para avaliar se as peças estão *ok*, isto é, cumprem a especificação, ou *nok*.

Template (blenda)- Parte frontal, produzida em plástico, de um auto-rádio.

Capítulo 1

Introdução

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

1.1. A Empresa

A Delphi Automotive Systems-Portugal SA é sediada em Braga e pertence ao grupo Electronics & Safety. Tem como principal objetivo saber como se processa a competitividade, pois tenciona ser a fabrica mais competitiva do mundo para o mercado europeu. Para isso, a empresa orienta-se por sete absolutos de excelência, que se encontram na Figura 1.

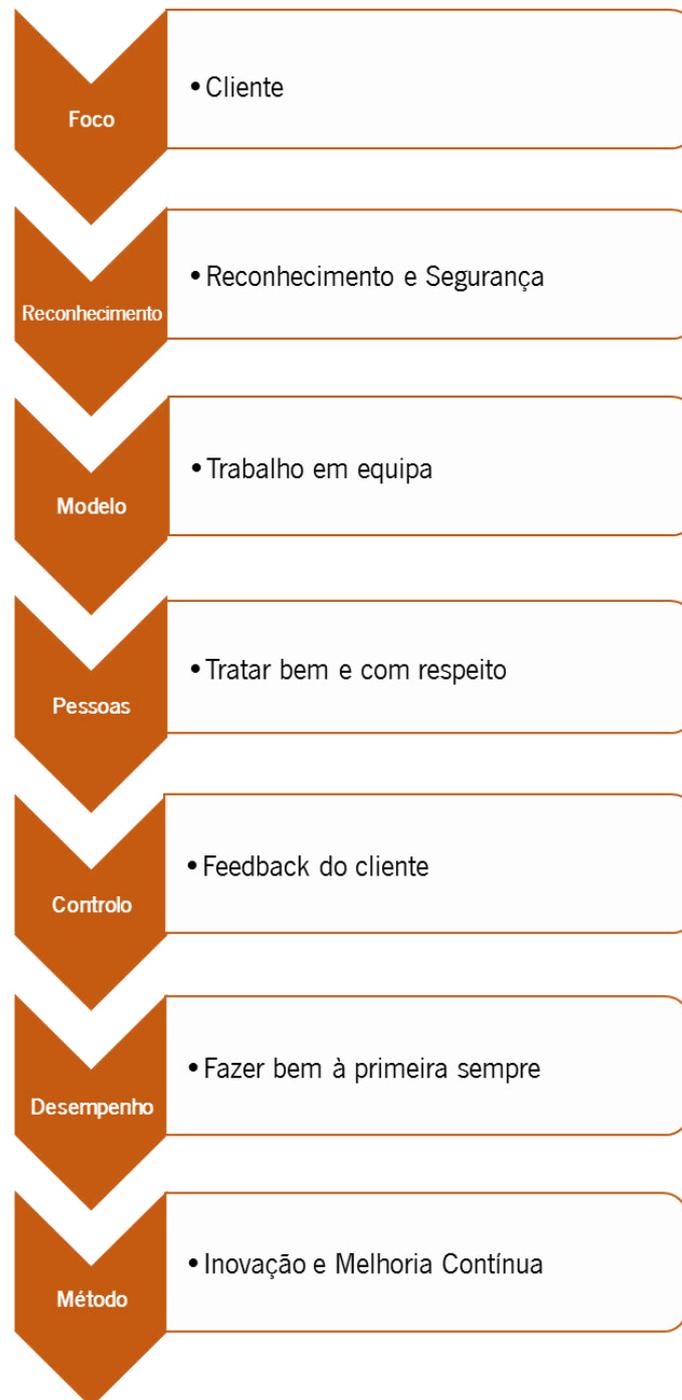


Figura 1-Absolutos de excelência

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

A Delphi em Braga foi criada em 2003 quando o grupo Delphi comprou a empresa Grundig fundada em 1930 por Max Grundig. Em 1930 Max Grundig criou uma pequena fabrica de transformadores, sendo criados os primeiros rádios com a marca Grundig em 1945. Em 1965 foi fundada a Grundig em Braga e iniciou-se a produção de televisores a preto e branco e seis anos mais tarde a produção de autorádios. Ao longo dos anos a empresa foi colecionando certificações e prémios na produção de autorádios. Quando foi comprada pela Delphi, a empresa passou a chamar-se Delphi Grundig e em 2011 passa a chamar-se apenas Delphi (Figura 2).



Figura 2- Fábrica Delphi

Atualmente a empresa possui cerca de 700 colaboradores e dedica-se ao fabrico de componentes para a industria automóvel essencialmente para exportação.

É constituída por quatro edificios, tendo uma área total de aproximadamente 42 mil metros quadrados e uma área coberta de cerca de 17 mil metros quadrado, sendo que cerca de 10 mil metros estão destinados à área de produção. A área de produção está dividida em 2 edificios.

O edificio 1 dedica-se à produção de componentes eletrónicos dos produtos, nomeadamente, sistemas de navegação, auto-rádios, antenas e displays e o edificio 2 dedica-se à produção dos componentes plasticos. No edificio 2 realiza-se a injeção, a pintura e a montagem das peças plásticas com o propósito de as fornecer ao seu cliente, o edificio 1. No edificio 1 procede-se à inserção automática dos componentes, montagem manual e montagem final, onde o produto final é testado e embalado. Na Figura 3, está representada a unidade fabril da Delphi-fábrica de Braga.

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

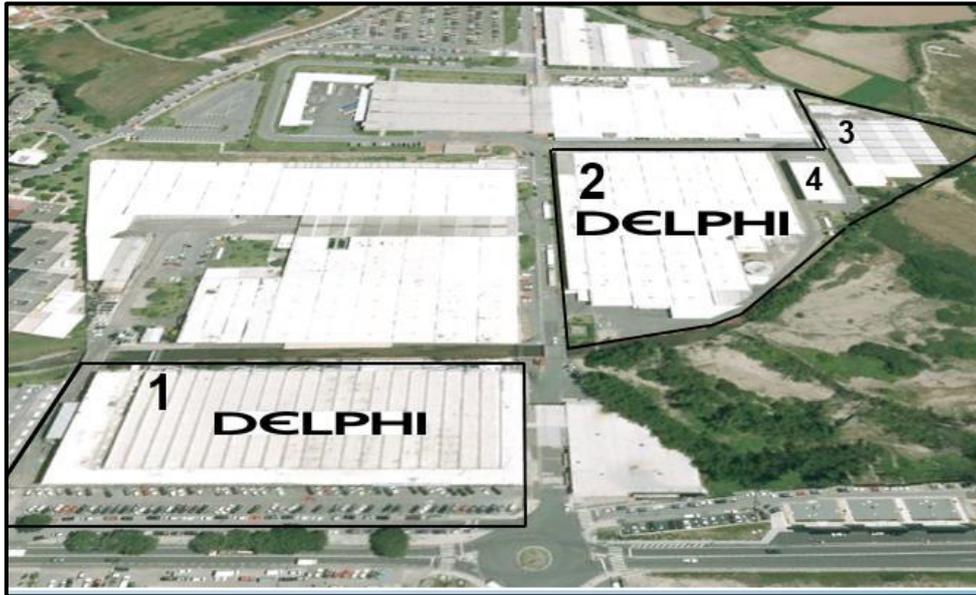


Figura 3- Unidade fabril da Delphi

O presente trabalho decorreu no departamento de plásticos. Este departamento iniciou a sua produção em 2010 tendo como propósito uma integração vertical para proporcionar benefícios, tais como, a proximidade do local de produção de plásticos com o local de produção eletrónica, um parecer rápido a nível de qualidade, a minimização de stocks e flexibilidade logística. Este departamento é constituído por três áreas principais: a injeção, a pintura e a montagem final e três áreas de apoio: a qualidade, a manutenção e a serralharia.

A área de injeção é constituída por dez máquinas de injeção normal, duas máquinas de bi-injeção que permitem a injeção de dois materiais em simultâneo e um armazém onde se encontram as matérias-primas. As máquinas de bi-injeção são da marca Engel e têm força de fecho de 100 e 180 toneladas. Existe também uma máquina de injeção normal da marca Engel com força de fecho de 150 toneladas e nove máquinas de injeção normal da marca Arburg. Destas máquinas, duas têm força de fecho de 50 toneladas, duas de 80 toneladas, duas de 250 toneladas, uma de 100 toneladas, uma de 500 e uma de 400 toneladas. Nesta área o material é injetado, retirado do molde por auxílio de *robots* sendo alocado em *blisters* ou caixas, que após estarem preenchidas são colocadas na zona de carregamento se forem para pintar, nas estantes da montagem final ou no *camban* para serem enviadas ao edifício 1.

A área de pintura é constituída pela zona de carregamento, zona de pintura e zona de inspeção de pintura.

A zona de carregamento é o local onde as peças sofrem uma limpeza e são carregadas nos carrinhos para serem pintadas. Neste posto, carregam-se os botões nos *jigs* e as restantes peças em redes. Depois, procede-se à preparação das peças para serem pintadas. Na Figura 4 encontra-se um exemplo de um *jig* e de uma rede.

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS



Figura 4- Exemplo de um *jig* e de uma rede onde são carregados os botões e as redes, respetivamente

Para isso, utiliza-se um pano embebido em álcool isopropílico, isento de fibras, que se passa sobre as peças de modo a eliminar impressões e os agentes desmoldantes, seguindo-se a limpeza com ar ionizado. O ar ionizado proporciona a eliminação da carga eletrostática, removendo a sujidade e evitando a sua captação. Posteriormente, as redes com os jigs ou somente as redes são carregadas em carrinhos de pintura (Figura 5) de cima para baixo de modo a evitar que os resíduos existentes no carrinho ou nas redes se depositem nas peças que se encontram nas posições abaixo.



Figura 5- Carrinho de pintura

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

Por fim os carrinhos são colocados na área de pintura para se proceder à pintura das peças que ocorre na área de pintura. O fluxo percorrido pelas peças nesta área está ilustrado na Figura 6 .

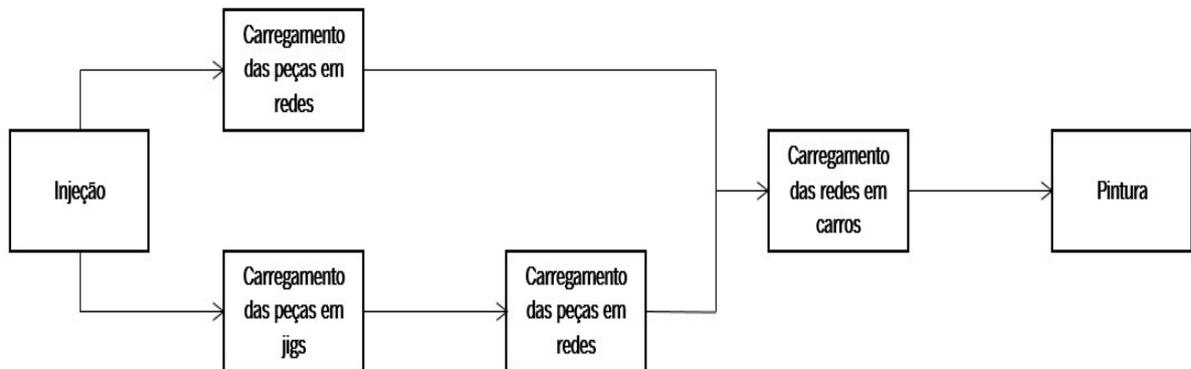


Figura 6- Fluxo percorrido pelas peças na zona de carregamento

Na zona de pintura existe uma sala onde se encontram as máquinas de pintura e uma cozinha onde se preparam as tintas e se procede à mistura e agitação de todos os componentes que os constituem .

Na zona de inspeção de pintura os carrinhos que saem da pintura são inspecionados e as peças não conformes são enviadas para a avaliação da qualidade e as restantes seguem para a montagem final.

Na montagem final realiza-se a montagem das peças provenientes da injeção, da pintura, e nalguns casos de fornecedores, a tampografia (pad-print), a cravação a quente, o laser, a inspeção final e a embalagem. Após a montagem, inspecionam-se os produtos e apenas se embalam os que não contenham defeitos, os restantes produtos são enviados para avaliação da qualidade.

Nem todos os produtos produzidos neste departamento são injetados, pintados e montados. Existem alguns produtos que apenas são injetados e outros produtos que são injetados e pintados. O fluxo percorrido pelas peças no departamento de plásticos até ao cliente (edifício 1) está ilustrado na Figura 7.

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

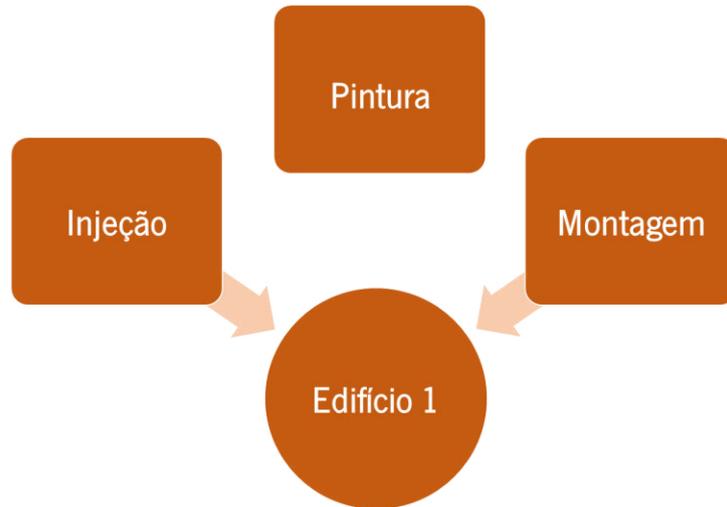


Figura 7- Fluxo percorrido pelos produtos até ao cliente final

A equipa da qualidade apoia as três principais áreas de produção, tendo como principais funções o controlo estatístico do processo de injeção, a validação do *Setup*, o controlo da pintura e montagem final e o retrabalho das peças suspeitas resultantes quer da injeção, pintura ou montagem final e registo dos dados na base de dados (QIS) para posterior tratamento estatístico.

A equipa de manutenção também auxilia as três principais áreas de produção pois tem como principal função a manutenção e reparação de todos os equipamentos presentes nestes departamentos.

A serralharia apoia a área de injeção pois a sua função centraliza-se na preparação, reparação e correção dos moldes utilizados nas máquinas de injeção.

Na Figura 8 é possível visualizar a planta fabril do edifício 2.

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

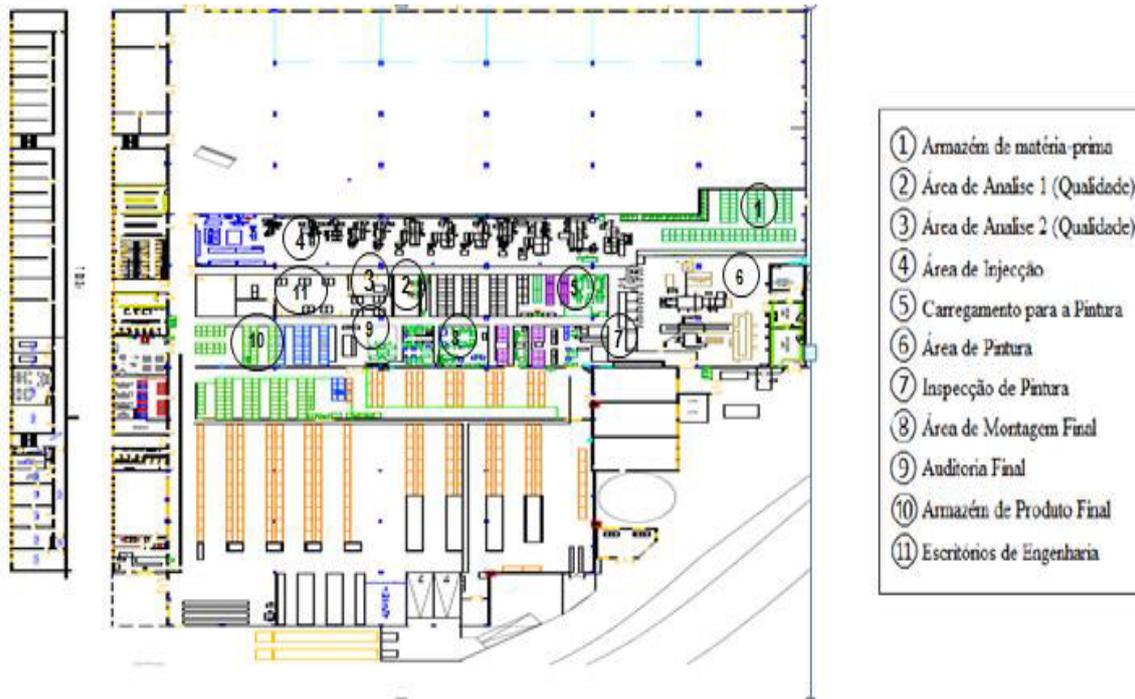


Figura 8- Planta fabril do edifício 2 [5]

A Delphi Automotive Systems concentra-se na produção de peças cosméticas (inclusive de alto brilho) e funcionais tendo como principais produtos os componentes eletrónicos e plásticos dos auto-rádios, sistemas de navegação, sistemas de receção (antenas) e displays como os que se encontram representados na Figura 9.



Figura 9-Alguns dos produtos produzidos na Delphi Automotive

Tem como principais clientes os maiores produtores mundiais de automoveis como a VW, BMW, Ford, Porsche, Ferrari, Audi, PSA, Volvo, Fiat, entre outros.

O percurso percorrido pelos produtos desde que são produzidos até que são expedidos está ilustrado na Figura 10.

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS



Figura 10-Fluxo percorrido pelos produtos até ao cliente final

1.2. Pintura de peças em plástico

O uso de materiais plásticos na indústria automobilística tem-se tornado cada vez mais comum uma vez que existe uma tendência crescente para o uso de peças com baixo peso, menores custos de produção e redução dos prazos de entrega. (Plastics, 1998). A introdução de peças plásticas na indústria automobilística permite aliar a elevada resistência e rigidez dos materiais com a liberdade de *design* das peças moldadas por injeção. Assim, é possível reduzir o peso total de um automóvel e torna-lo mais atrativo ao olhar do consumidor uma vez que há maior liberdade de *design*. (Plastics, 2001)

Na Figura 11 encontra-se um gráfico onde é possível visualizar a evolução do uso de materiais plásticos em veículos.

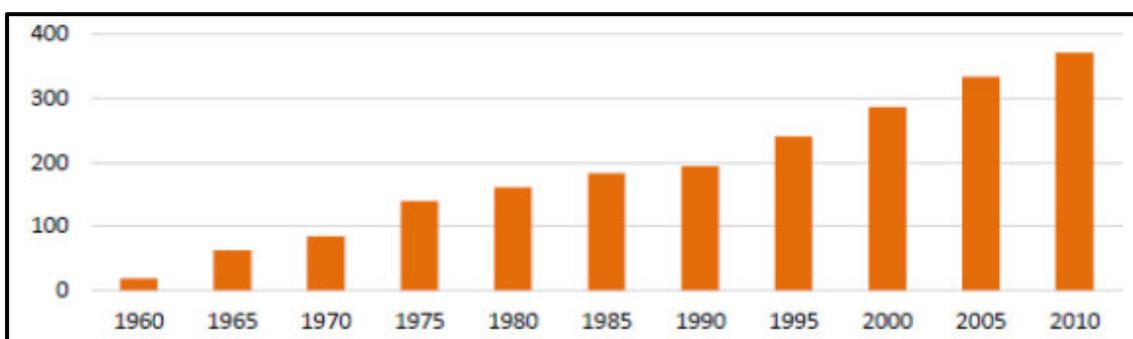


Figura 11- Evolução do uso de materiais plásticos em veículos (Monaro, Lima, & Tonetti)

As empresas ligadas a este setor trabalham com o foco de obter uma melhoria contínua tendo como principais objetivos o aumento da qualidade dos seus produtos e o desenvolvimento de modos de respostas velozes às alterações dos produtos sugeridas pelos clientes. (Plastics, 1998) Neste setor é muito comum usar-se o processo de pintura com o intuito de desenvolver peças mais estéticas, mais resistentes ao toque,

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

com uniformidade de cor e brilho superficial. As peças pintadas muitas vezes atingem o efeito de “toque macio”. (Plastics, 1998).

A pintura de peças plásticas é um processo muito complexo e difícil de controlar uma vez que existem vários fatores externos e internos que influenciam todo o processo de pintura. É necessário um conhecimento profundo do processo e da interação entre os diversos fatores, que apenas se adquire com uma vasta experiência no processo, para a obtenção de peças com a qualidade desejada.

Antes de se iniciar o processo de pintura é necessário assegurar que os parâmetros de *Setup*, como a espessura de tinta, o brilho e a adesão cumprem a especificação. Para isso, é necessário ajustar o *Setup*, isto é, proceder a ajustes nas variáveis do processo de acordo com o definido no *Setup* inicial de cada produto. Em alguns casos, pode também ser necessário proceder a ajustes nos parâmetros de *Setup* ao longo da produção de um lote de pintura para se obter as peças com a qualidade desejada.

A obtenção de uma camada de tinta com espessura uniforme no processo de pintura é fulcral para evitar a ocorrência de defeitos em processos subsequentes à pintura uma vez que a espessura de tinta tem grande influência no processo de laser e na montagem final das peças pintadas, podendo originar refugo. Para a obtenção de uma espessura de tinta uniforme ao longo da superfície são desenvolvidos vários estudos com o objetivo de determinar qual o método de aplicação de tinta e os fatores mais influentes para este desígnio.

1.3. Motivações e Objetivos

Esta dissertação surgiu após a realização do Projeto Individual onde se constatou que o processo de pintura na Delphi não se encontra controlado estatisticamente. Isto é, as peças pintadas apresentam grande variabilidade de espessura de tinta uma vez que não se consegue produzir peças com espessura de tinta uniforme uma vez que esta não se deposita de igual modo ao longo do processo de pintura. O processo de pintura é extremamente complexo uma vez que a quantidade de fatores que o influenciam e condicionam é imensa, pelo que se torna extremamente desafiante e difícil controlá-lo.

Este trabalho apresenta como principais objetivos o estudo da variação de espessura de tinta nos produtos produzidos na empresa. Surgiu com a necessidade de compreender os motivos que originam a produção de peças com variabilidade de espessura e com a necessidade de estabelecer relação entre a espessura da tinta obtida nos elementos de controlo e a obtida nas peças pintadas.

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

Como a variação de espessura tem influência no processo de Laser, o presente trabalho consiste no estudo da espessura de tinta em peças pintadas que são submetidas ao processo Laser e em estabelecer relação entre as variáveis do processo de pintura mais influentes na espessura de tinta.

Para alcançar os objetivos propostos é necessário:

- Selecionar os produtos a estudar a variabilidade de espessura;
- Acompanhar as produções de lotes de pintura de modo a estudar a variação de espessura existente ao longo do processo de pintura;
- Medir a espessura de tinta nos elementos de controlo ao longo do processo de pintura;
- Medir a espessura de tinta nas peças plásticas ao longo do processo de pintura;
- Definir os parâmetros mais influentes no processo de pintura;
- Definir as condições de pintura;

1.4. Organização do trabalho

A dissertação é constituída por 6 capítulos, sendo a seguir apresentada uma breve descrição sobre cada capítulo.

- **Capítulo 1: Introdução**- neste capítulo é realizada uma pequena introdução ao tema a desenvolver, onde se identifica o problema a estudar. Explicam-se as motivações que deram origem ao trabalho e definem-se quais os principais objetivos a alcançar durante a realização do trabalho. É também realizada uma breve descrição sobre a empresa com especial ênfase para o departamento de plásticos, local onde decorreu o trabalho.
- **Capítulo 2: Processo de Pintura** -neste capítulo é realizado uma revisão bibliográfica sobre o tema da dissertação, que suporta todo o trabalho desenvolvido.
- **Capítulo 3: Processo de Pintura na Delphi**- neste capítulo é explicado o funcionamento do processo de pintura na empresa, nomeadamente, quais os equipamentos utilizados para realizar o processo de pintura, como se realiza a validação dos *Setups*, e como se efetuam as medições de espessura e de viscosidade da tinta.
- **Capítulo 4: Experimental**- neste capítulo é explicada a metodologia usada na elaboração do estudo de espessura de tinta, assim como a seleção das peças a estudar e os equipamentos utilizados. É também explicada a definição das condições de pintura utilizadas no estudo que permite estabelecer relação entre o *Flow-Rate*, a Atomização e o *Fan*.
- **Capítulo 5: Apresentação e análise dos resultados**- neste capítulo são apresentadas e discutidos os resultados obtidos nos estudos realizados.

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

- **Capítulo 6:** Conclusões e Trabalhos Futuros- neste capítulo são apresentadas as principais conclusões dos estudos realizados e são apresentadas propostas para possíveis trabalhos a realizar no futuro no âmbito deste tema.

Capítulo 2

O Processo de Pintura

2.1. O Processo de Pintura

O processo de pintura das peças plásticas tem como principais funções a proteção e a decoração da superfície a pintar. (Basics of Coating Technology 2nd revised edition)

A qualidade final de um revestimento é influenciada pelas condições ambientais e económicas, forma da peça, tipo de substrato, método de aplicação de tinta e pelo tipo de revestimento utilizado. As condições ambientais que mais influenciam o sucesso de um revestimento de pintura são a temperatura, a humidade relativa e a ventilação. A temperatura tem influência sobre a viscosidade da tinta, a taxa de evaporação do solvente, o tempo de secagem e o tempo de cura do revestimento. Quando a tinta é aplicada em temperaturas ambiente baixas pode necessitar de um maior tempo de secagem e tempo de cura. Se a tinta for aplicada em temperaturas ambiente mais altas a evaporação de solvente aumenta, diminuindo o tempo de secagem e de cura, podendo tornar mais curto o tempo entre aplicações de tinta. A humidade presente no ar e na superfície da peça quando a tinta é aplicada é muito importante porque pode levar a condensações indesejadas na superfície das peças e pode interferir com a adesão da pintura. Em relação ao efeito da tinta na qualidade final do revestimento é necessário garantir que esta se encontra em boas condições e dentro do prazo de validade. (Reference Module in Materials Science and Materials Engineering)

Na Figura 12 é possível verificar quais são os fatores que influenciam a qualidade final de um revestimento de pintura. (Basics of Coating Technology 2nd revised edition)

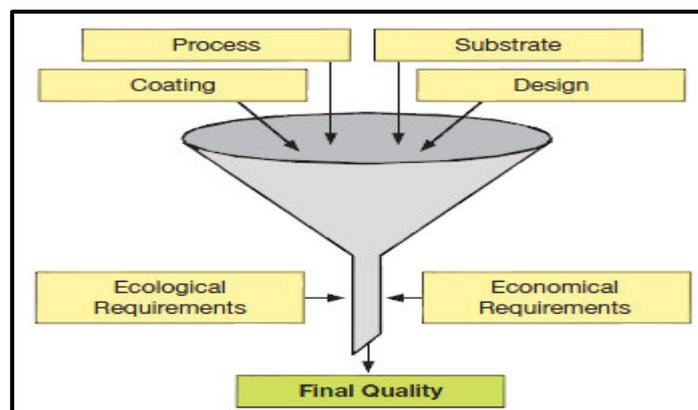


Figura 12- Fatores que influenciam a qualidade final de um revestimento de pintura adotado de (Goldschmidt & Streitberger, 2007)

Previamente à aplicação do revestimento é necessário realizar a preparação da superfície de modo a que esta atinja um nível de limpeza e rugosidade adequada para permitir uma boa aderência do revestimento às peças. (Essentials of Coating, Painting, and Lining for the Oil, Gas, and Petrochemical Industries)

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

Apesar do processo de pintura não seguir uma metodologia exata, existem três passos essenciais que devem ser realizados de modo a aumentar a adesão entre a tinta e a peça plástica, levando ao aumento da qualidade dos produtos pintados. Os três passos que devem ser seguidos são: pré-tratamento, pintura e cura. (Painting Guide)

O pré-tratamento das peças, que pode ser por limpeza ou pela ativação da superfície, consiste na preparação do substrato, antes de se iniciar a pintura, com o intuito de aumentar a adesão entre o substrato plástico e a tinta. Com esta ação consegue-se remover qualquer tipo de contaminação, como poeiras ou óleos, evitando a ocorrência de defeitos numa fase posterior. (Painting Guide) .

Os métodos de pré-tratamentos que se podem realizar são: (Painting Guide)

- **Limpeza com solvente ou ar ionizado:** processo barato, que pode ser feito à mão com álcool ou por meio de ar ionizado. Permite remover a sujidade e gorduras. (Painting Guide)
- **Utilização de abrasivos:** processo barato, que consiste na utilização de uma lixa (abrasivo) ou um jato de areia.
- **Tratamento de chama:** consiste na exposição da superfície da peça a uma chama oxidativa, a cerca de 1100 a 3000 °C, que provoca a oxidação da peça. O sucesso do tratamento depende da uniformidade do contacto entre a peça e a chama. Necessita de um tempo de contacto menor que 1 segundo a uma velocidade de 20m/min. O queimador necessita de se adaptar à forma das peças.
- **Tratamento Corona:** Consiste numa descarga elétrica de elevada frequência. Quando está sujeito a 20 kV, o ar atinge a resistência dielétrica e ioniza-se. Forma-se um plasma azotado, dando-se a descarga de corona. Há a transferência de eletrões e iões com a energia suficiente para quebrar as ligações covalentes.
- **Tratamento com plasma:** É uma variante do tratamento de corona que se realiza numa câmara de vácuo, à pressão atmosférica. Há a introdução de gás e aplica-se uma tensão de alta frequência, o gás é ionizado e forma-se o plasma. Ocorre a transferência de iões e eletrões com a energia suficiente para quebrar as ligações covalentes. É um método não contaminante, rápido e eficaz que apenas atua na camada externa. (Tratamento de Superfícies);

A pintura é uma ação em que uma quantidade estipulada de tinta é disparada de forma automática ou manual na direção do produto, de modo a que este seja totalmente coberto. A pintura pode ser monocamada, se apenas for aplicado a tinta de acabamento, bicamada se for aplicado primário e uma tinta de acabamento ou tricamada se o processo de pintura for finalizado com a aplicação de um verniz (top coat). O número de camadas depende das características do produto pretendidas. (Carvalho) O primário também designado por revestimento de topo é a primeira camada a aplicar na pintura de um produto,

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

promovendo a aderência da tinta de acabamento. A tinta de acabamento confere um aspeto decorativo, fornecendo a cor, o brilho, a opacidade, a dureza e a aparência desejada. O verniz (top coat) tem a função de revestir o substrato, conferindo o brilho e a aparência adequada à peça. (Basics of Coating Technology 2nd revised edition)

A cura é um processo de secagem da tinta líquida onde ocorre a evaporação do solvente e dá-se a reticulação da resina, formando-se uma película fina, opaca e aderente ao substrato que tem como finalidade a proteção e a estética da superfície. (Manual Básico sobre Tintas), (Pintura em Peças de Plástico) O processo de cura pode acontecer por UV, por IR ou por convecção térmica do ar. (Components Industry) A cura por radiação UV é utilizada em aplicações industriais onde não é possível a utilização de cura termica como no caso da cura de revestimentos em substratos sensíveis à temperatura, como a madeira, o papel e o plástico. É também usada em aplicações de imagem, onde apenas serão polimerizadas as áreas seleccionadas. (UV Coatings- Basics, Recent Developments and New Applications)

A resina que se encontra no estado líquido e apresenta baixa massa molecular vai sofrer reticulação, isto é, haverá a formação de radicais livres que permitirão o encadeamento molecular (reticulação), formando uma película no estado sólido. A radiação IR pode ser usada em processos de cura e secagem para fornecer um controlo preciso da cor, brilho, textura e acabamento de superfície. (Metal Finishing) Na cura por radiação UV ou IR, a energia que chega (radiação) à tinta promove a reticulação química (polimerização, encadeamento molecular) dos componentes da tinta. Na cura por radiação, o ambiente participa do processo como apenas elemento de transporte. O ambiente encontra-se entre a fonte de energia e o sistema a curar, por isso o ambiente ideal para este processo de cura seria o vácuo. Um grande benefício de promover a cura de tintas por radiação é a redução no espaço (comprimento) do equipamento. Na cura por convecção, a energia é fornecida ao ambiente e este é aquecido, transferindo a energia para o sistema (componentes da tinta). Na cura por convecção existem perdas de energia, no sentido em que apenas uma parte da energia transferida para o ambiente é a necessária para a tinta. (SOSIUS all for one, one for all)

2.2. Métodos de aplicação de tinta

Existem vários métodos de aplicação de tinta e revestimentos que são utilizadas na pintura de peças plásticas que incluem a pintura convencional (*spray*), pintura hidráulica e pintura electroestática. O método de aplicação de tinta escolhido tem influência na qualidade final do revestimento de pintura uma vez que a transferência de eficiência e a quantidade de *overspray* produzido difere de método para método.

De entre os métodos existentes os principais são: (Reference Module in Materials Science and Materials Engineering); (Gnecco, Mariano, & Fernandes);

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

- ***Air-Assisted Spray***: método de aplicação por pulverização convencional, onde se utiliza ar comprimido para atomizar a tinta e projetá-la em direção à superfície a revestir. Assim que a tinta passa através do orifício do bico de fluido, é misturada com ar comprimido e é atomizada. Este método utiliza uma pistola comum com pulverização de ar convencional que atomiza o material no ar a elevadas pressões e modera o fluxo de ar.

Apresenta como principais desvantagens o excessivo *overspray* que produz, o ricochete da tinta na peça e os desperdícios de tinta. A quantidade de *overspray* depende do tamanho e da forma do objeto a pintar sendo também influenciado pela pressão e distância de pulverização e pelas características da própria tinta.

Em comparação com os restantes métodos apresenta uma eficiência de transferência de pulverização relativamente baixa, tipicamente, entre 30 e 45%.

Os componentes necessários para a utilização deste método são um compressor de ar, uma mangueira de ar e uma pistola convencional.

- ***Airless Spray***: No equipamento de pulverização sem ar, a tinta não é atomizado pelo ar. Neste método é utilizada uma bomba de fluido (força hidráulica) para forçar a tinta através de um pequeno orifício a pressões muito elevadas que variam entre 8.2 e 25 MPa. A atomização é conseguida pela libertação da tinta líquida altamente pressurizada através de um pequeno orifício no bico de pulverização.

Apresenta-se como sendo um método com maior eficiência de transferência de pulverização quando comparado com o *spray* convencional pois produz menor quantidade de *overspray*.

Para obter um revestimento de tinta uniforme é necessário escolher cuidadosamente o tamanho do bico e a largura de pulverização (o "leque"), ter em conta as orientações fornecidas pelo fabricante da tinta sobre a folha de dados técnicos para o produto de revestimento.

As pistolas de pulverização sem ar estão equipadas com dispositivos de segurança de ponta uma vez que perto do bocal, a tinta é disparada a pressões muito elevadas.

Na Figura 13 é possível visualizar o diagrama do percurso da tinta na utilização deste método. (Settles)

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

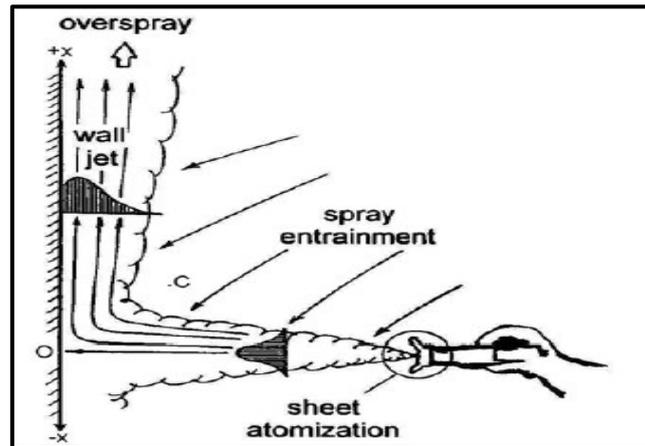


Figura 13- Diagrama do percurso da tinta na utilização do *Airless Spray*

- ***Air-Assisted Airless Spray***: método de pulverização sem auxílio de ar que utiliza um híbrido da aplicação de pulverização sem ar e da aplicação de pulverização com ar atomizado convencional. As pistolas utilizadas pulverizam parcialmente o líquido com um bico semelhante ao bico *airless*. As pistolas completam a pulverização com pequenas quantidades de ar comprimido. (Technonspray Máquinas e Equipamentos Ltda) O propósito da introdução do fornecimento de ar comprimido é ajudar a atomização, sem criar ressaltos excessivos de volta. Com isto, consegue-se obter uma melhor eficiência de transferência do que com os métodos anteriormente descritos.
- ***HVLP***: é uma nova técnica de pulverização, que tem sido desenvolvida no mercado para melhorar a eficiência de transferência e reduzir a emissão de COV's para o ambiente, quando os revestimentos à base de solvente são aplicados por um método de pulverização de ar atomizado. É um método de pintura com funcionamento semelhante ao método convencional, que atomiza o fluido a baixas pressões e volumes elevados, isto é, utiliza-se uma pistola com ar comprimido que utiliza um volume de ar elevado em vez de elevadas pressões. A tinta é transferida para o bico da pistola de pulverização sob pressão e é atomizada a baixa pressão. A fim de albergar os maiores volumes de ar requerido, as passagens de ar na tampa de pulverização da pistola HVLP são muito maiores do que as de uma pistola de pulverização convencional. Permite uma taxa de transferência de tinta mais elevada do que as pistolas convencionais uma vez que neste método a quantidade de *overspray* é menor. A pressão de pulverização é em torno de 0,7 kg/cm enquanto que a utilizada nas pistolas convencionais ronda os 2,8 e os 3,5 kg/cm.
- ***Electrostatic Spray***: método que utiliza a atração eletrostática para melhorar a eficiência de transferência. As partículas de tinta são passadas através de um campo electroestático forte, adquirindo carga e são atraídas pelas peças que se encontram ligadas à terra, criando um campo eletrostático. As partículas podem ser carregadas através do ar da vizinhança da cabeça de pulverização que se encontra carregado e a carga é transferida parcialmente às gotículas de tinta

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

atomizadas, à medida que passam nele ou são carregadas por um elétron que é colocado dentro da própria pistola. Devida à atração criada entre as peças e o fluido forma-se uma camada de tinta uniforme. Tem como principais vantagens a obtenção de espessuras uniformes e a obtenção de bons acabamentos em peças com geometria complexa.

Na Figura 14 encontra-se representado um esquema das gotículas de tinta carregadas a envolver a superfície da peça a pintar. (Application of Liquid Coatings)

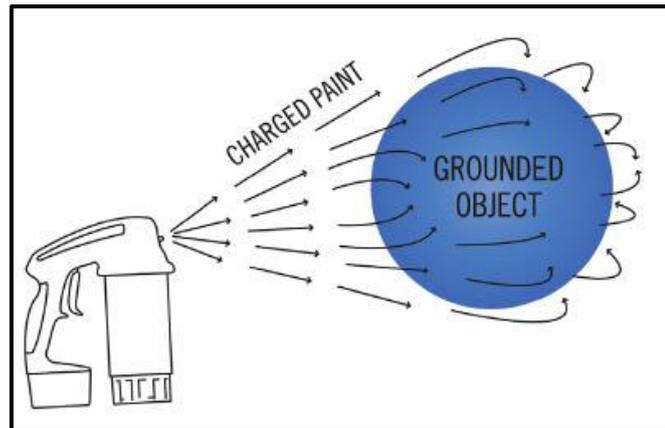


Figura 14-Percurso das gotículas de tinta carregadas a envolver a peça a pintar (McKeen, 2016)

Na Figura 15 é possível verificar os intervalos típicos de eficiência de transferência para vários métodos de aplicação de tinta.

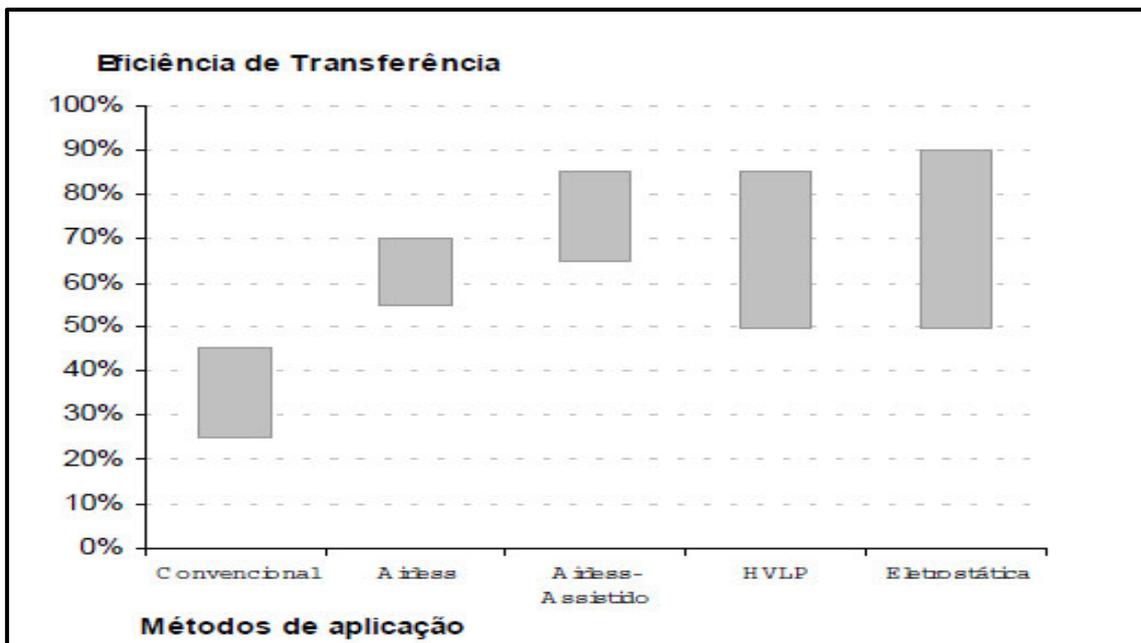


Figura 15- Intervalo de Eficiência de transferência para os vários métodos de aplicação de tinta. (Reference Module in Materials Science and Materials Engineering, 2010)

2.3. Variáveis operatórias no processo de pintura

De entre o conjunto de variáveis do processo influentes no processo de pintura pode destacar-se os que estão relacionados com as pistolas, tais como, a Atomização, a *Fan Pressure* e o *Flow-Rate* como sendo as variáveis que mais influenciam a distribuição de espessura da tinta nas peças plásticas.

A atomização consiste na transformação de líquidos em *sprays* ou em dispersões físicas de partículas pequenas em atmosferas gasosas. O processo de atomização consiste na desintegração de um jato líquido ou uma folha de líquido devido à energia cinética do próprio líquido, pela exposição a uma corrente de ar ou água a elevada velocidade ou pela energia mecânica externa aplicada com auxílio de dispositivos rotativos ou vibratórios. O *spray* típico resultante do processo de atomização é caracterizado por um largo espectro de gotas de vários tamanhos. O desenvolvimento do jato líquido ou de uma folha líquida e o crescimento de pequenas perturbações que levam à desintegração em gotas, são importantes na determinação do formato e penetração do *spray* resultante, bem como na densidade, na velocidade das gotas e na distribuição do tamanho de gotas em função do tempo e do espaço. Estas características são influenciadas pela geometria do atomizador, pelas propriedades do meio gasoso no qual o líquido é libertado e pelas propriedades físicas do líquido a atomizar. A velocidade de saída da tinta influencia a dispersão e o tamanho das gotículas de tinta uma vez que a velocidades mais baixas formam-se gotículas de maiores dimensões. (ATOMIZAÇÃO E SPRAYS) O ar e a tinta dispensados pelo sistema de pintura para atomização do fluido devem ser ajustados à geometria da peça e aos parâmetros do processo de pintura, sendo o *Fan* o parâmetro de pintura que se encontra relacionado com estas questões.

As pistolas de pulverização são constituídas por bicos auxiliares que fornecem o ar sob pressão ao sistema que dá forma à nuvem atomizada. O *Fan* é composto pelo leque de tinta que se forma à saída da pistola de pulverização sendo a sua largura e forma controlados pela pressão fornecida pelo sistema. No entanto, o efeito dessa pressão fornecida sobre as dimensões das gotículas de tinta atomizadas é mínimo. (Application of Liquid Coatings) O *air cap* é o elemento da pistola responsável pela definição da pulverização do fluido à saída da pistola, que confere ao *Fan* uma forma de pulverização elíptica. Deste modo, o leque de pulverização adequa-se melhor à geometria das peças do que o *Fan* com pulverização circular. (Processes and Techniques for Droplet Generation)

O *Flow Rate* é um parâmetro do processo de pintura que estima a quantidade de tinta que é expelida pelo bico da pistola, por unidade de tempo. O seu valor depende da abertura da pistola, das pressões fornecidas pelo sistema, da atomização e do *Fan*. Se a quantidade de tinta expelida pela pistola não for a necessária para cobrir uniformemente o revestimento podem ocorrer defeitos de revestimento irregular. Por outro lado, se a quantidade de tinta expelida pela pistola, por unidade de tempo, for superior à necessária para cobrir

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

uniformemente o revestimento, podem ocorrer problemas por excesso de pulverização na superfície das peças.

2.4. Principais Defeitos

O processo de pintura é muito suscetível à ocorrência de defeitos uma vez que qualquer impureza depositada na superfície da peça ou no ambiente envolvente, ou qualquer alteração ao processo produtivo pode originar defeitos e imperfeições nas peças plásticas. A ocorrência de defeitos no processo de pintura além de originar peças não conformes, muitas vezes condiciona os seguintes processos operatórios a que as peças são sujeitas após o processo de pintura. (Tintas WEG) (Spies Hecker)

Uma das causas que pode originar defeitos no processo de pintura é a não uniformidade de espessura do revestimento uma vez que a quantidade de tinta depositada na superfície a revestir pode ser inadequada. Assim, durante a produção de um lote de pintura pode ocorrer a formação de peças defeituosas causadas por excesso ou falta de espessura.

Quando as peças são produzidas com menor espessura de tinta do que a especificada, pode ocorrer a produção de peças com baixa opacidade ou casca de laranja. A baixa opacidade manifesta-se pela coloração desigual da superfície tornando-se visível através do revestimento superior. Pode ocorrer pela aplicação de uma camada insuficiente de *top coat* ou produzido de forma incorreta ou pela desigualdade do substrato. A casca de laranja caracteriza-se pela textura da superfície pois esta apresenta uma textura semelhante à casca de uma laranja, exibindo rugosidade. Pode ocorrer também pelo uso de redutores altamente voláteis e rápidos, pelo bico da pistola ter um tamanho inadequado e por esta se encontrar muito longe do objeto ou por não ter sido aplicada tinta suficiente. Para evitar a ocorrência destes defeitos, deve-se regular a temperatura da cabine de pintura, definir a viscosidade da tinta, verificar e manter a distância de pulverização. (Tintas WEG) (Spies Hecker)

Por outro lado, quando a peça apresenta espessura de tinta em excesso pode ocorrer a formação de defeitos como os escorridos, as bolhas e as crateras. Os escorridos ocorrem porque as tintas tendem a deslocar por ação da gravidade em superfícies verticais, na forma de onda ou gotas. Este tipo de defeito pode ser causado pela aplicação de pintura irregular, por redutores inadequados, pela temperatura cabine de pintura muito baixa, pistolas defeituosas ou pelo tempo de *Flash-off* entre demãos ser demasiado curto. Para evitar a ocorrência deste defeito deve-se cumprir com as instruções sobre a peça, pintura, cabines de pintura e temperatura, verificar o equipamento de pulverização regularmente e realizar a mistura e aplicação da tinta de acordo com as instruções. As bolhas caracterizam-se pela formação de pequenas

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

bolhas no revestimento superior, contendo sólidos, líquidos ou gases. Podem também ser causadas por uma secagem forçada ou pela utilização de um endurecedor inadequado. Para evitar a sua formação é necessário aplicar a tinta em espessuras normais, mantendo os tempos de evaporação especificados. As crateras correspondem à formação de pequenas depressões arredondadas sobre a superfície pintada. Este defeito pode ser provocado não só pela espessura de filme excessiva, mas também por uma viscosidade de pulverização incorreta ou por um tempo de *flash-off* insuficiente entre demãos. Para evitar a sua ocorrência deve-se escolher o endurecedor certo para a temperatura e observar os tempos de evaporação do solvente. (Tintas WEG) (Spies Hecker)

A ocorrência destes defeitos condiciona os processos operatórios porque se a peça não cumpre a especificação não pode ser utilizada nos processos subsequentes originando refugo.

No caso de a peça ser produzida com defeitos relacionados com a falta de espessura de tinta, verifica-se que ao ser sujeita ao processo de remoção de tinta por laser, a energia utilizada pelo laser para remover a quantidade de tinta estipulada acabará por remover maior quantidade do que o esperado, originando a fuga de luz, criando uma peça não conforme. Além disso, quando se proceder à montagem de peça com falta de espessura verifica-se que como as peças não têm a espessura de tinta especificada podem apresentar folgas e não permitir o encaixe desejado.

No caso de a peça ser produzida com excesso de espessura de tinta, verifica-se que ao ser submetida ao processo de remoção de tinta por laser, a energia utilizada pelo laser para remover a quantidade de tinta estipulada acabará por remover menor quantidade do que o esperado, não permitindo a passagem nítida de luz, originando uma não conformidade. Além disso, durante a montagem das várias peças, como possuem maior espessura de tinta do que esperado, pode acontecer que a peça fique presa e não consiga deslizar sobre outra, como pretendido. Este defeito ocorre muito nos botões que ao serem produzidos com espessura de tinta superior à especificada ficam presos e não deslizam sobre a blenda.

Na Figura 16 encontra-se um exemplo de um botão preso numa blenda.

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS



Figura 16- Blenda do MIB produzida com um botão não conforme

Outro defeito muito comum no processo de pintura são as inclusões. As inclusões são defeitos que surgem nas peças pela presença de partículas salientes no revestimento superior da superfície, criando peças não conformes uma vez que a peça deixa de cumprir as especificações no teste visual. Estas podem ocorrer pelas superfícies não serem cuidadosamente limpas, pela sujidade presente na cabine de pintura, pela pressão insuficiente na cabine de pulverização ou pelas roupas de trabalho não serem adequadas. Para evitar a sua ocorrência, deve-se soprar sobre a superfície das peças e limpá-las com um pano de aderência, verificar os filtros regularmente, manter a cabine de pintura limpa e utilizar macacões sem fiapos. Como a peça não cumpre o *visual check* não pode ser utilizada na montagem do produto final, condicionando os processos subsequentes. (Tintas WEG) (Spies Hecker)

Quando não se respeita o *flash-off* a secagem na produção de um lote de pintura pode ocorrer a formação de dois tipos de defeitos: manchas de água e o enrugamento. As manchas de água são caracterizadas por manchas de gotículas de água em acabamentos frescos. Ocorre quando o *top coat* não se encontra completamente seco e é manchado por gotas de água, geralmente imediatamente depois da secagem em forno. Para prevenir a sua ocorrência deve-se observar o tempo de cura da tinta e permitir o arrefecimento da peça após secagem em estufa. O enrugamento caracteriza-se pela presença de micro rugas na superfície ou contração da película de tinta aplicada em parte ou em toda a superfície. Ocorre quando o substrato e o solvente não estão totalmente curados, nas zonas da peça que foi lixada até a camada de base ou na presença de substratos inadequados. Deve-se aplicar várias camadas finas usando um sistema 2K para substratos e deve-se permitir um *flash-off* mais longo. (Tintas WEG) (Spies Hecker)

Quando se pretende reparar os defeitos existentes em revestimentos principalmente escuros ou transparentes pode originar-se a criação de outro defeito, os hologramas. Este defeito caracteriza-se por apresentar um efeito 3D em superfícies de tinta escura em que um defeito pintura foi atenuado. Apresenta turvação circular ou elíptica, iridescência acinzentada como a de uma película de óleo. De modo a evitar a

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

sua ocorrência devem usar-se lixas adequadas para não deixar marcas nas superfícies das peças e manter os tempos de secagem para os sistemas de tintas utilizadas. (Tintas WEG) (Spies Hecker)

As peças plásticas após serem pintadas podem apresentar descascamento parcial ou total do filme de tinta do substrato. Este defeito pode ser causado pela agressão química da superfície da tinta por ácidos orgânicos fortes que atuam durante um período prolongado e quando exposto a altas temperaturas. (Tintas WEG) (Spies Hecker)

2.5. Composição de tintas

A tinta é uma composição química, pigmentada ou não, que após ser aplicada se converte num revestimento que proporciona às superfícies o acabamento, resistência e proteção. (Manual Básico sobre Tintas) É uma suspensão de pigmentos e aditivos destinados a colorir ou a proteger uma superfície. (Fundamentals of Forensic Science (Third Edition))

Os componentes básicos da tinta são: (Manual Básico sobre Tintas)

- **Resina-** composto não volátil da tinta que serve para aglomerar e distribuir as partículas de pigmento por toda a superfície. (Fundamentals of Forensic Science (Third Edition)) Determina o tipo de tinta ou revestimento impregnado. É a responsável pela formação da película protetora que após a cura forma a tinta. São obtidas pela indústria química ou petroquímica por meio de reações complexas, originando polímeros que conferem às tintas as suas propriedades de resistência e durabilidade. (Manual Básico sobre Tintas)
- **Pigmentos-** material sólido em pó que é insolúvel no meio em que se encontra disperso. Os pigmentos não se dissolvem e permanecem intactos na superfície onde se encontram dispersos, como se pode observar na Figura 17. São usados para conferir cor, opacidade e consistência. Podem ser orgânicos, inorgânicos ou uma mistura de ambos. (Manual Básico sobre Tintas), (Fundamentals of Forensic Science (Third Edition))

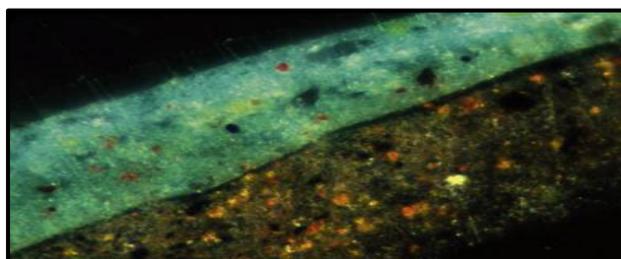


Figura 17- Dispersão dos pigmentos na tinta (Houck & Siegel, 2015)

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

- **Aditivos-** ingrediente incorporado nas formulações de tinta em quantidades que não excedem os 5% para lhes proporcionar características especiais e melhorar as suas propriedades. (Fundamentals of Forensic Science (Third Edition)); (Manual Básico sobre Tintas)
- **Solvente-** líquido volátil, de baixa viscosidade e baixo ponto de ebulição, usado nas tintas para dissolver a resina e permitir que a resina, os pigmentos e os restantes componentes permaneçam em solução até que a tinta esteja pronta para ser aplicada num substrato. Asseguram que a tinta não seca demasiado depressa deixando uma aparência enrugada ou lentamente causando gotejamentos e depressões. (Encyclopedia of Forensic Sciences (Second Edition)). São classificados em solventes aditivos, verdadeiros, latentes e inativos. (Manual Básico sobre Tintas)

Depois de a tinta ser aplicada, o solvente e muitos dos aditivos evaporam, permanecendo uma película de polímero rígido (resina) contendo pigmentos dispersos a cobrir e selar a superfície. (Fundamentals of Forensic Science (Third Edition))

Uma tinta à base de solvente pode ser composta por vários solventes pelo que é necessário que durante a secagem ocorra a evaporação dos mesmos de modo a que a espessura do revestimento diminua e se forme a película protetora. No tempo de *flash-off* apenas ocorre a evaporação dos solventes com ponto de ebulição mais baixo pelo que, após este tempo, a espessura do revestimento não é a pretendida. É necessário uma secagem em estufas para que todos os solventes com pontos de ebulição mais elevados evaporem e se obtenham peças com a espessura estimada.

As tintas podem ser à base de água ou de solvente, sendo que as que contêm solvente apresentam um nível mais elevado de adesão e de molhabilidade, melhorando a qualidade final de um revestimento. Segundo Joanna Izdebska, a tensão superficial nas tintas à base de água é mais elevada do que nas tintas à base de solvente uma vez que a água apresenta uma maior tensão superficial em relação aos solventes, o que faz com que a adesão entre a tinta e o substrato seja menor, tornando-se mais difícil revesti-lo. No entanto, no futuro as tintas à base de água substituirão as de solvente porque emitem menor quantidade de COV's. (Understanding Paint)

Na Figura 18 encontra-se a comparação da molhabilidade numa superfície polimerica entre uma tinta à base de água (a) e uma tinta à base de solvente (b).

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

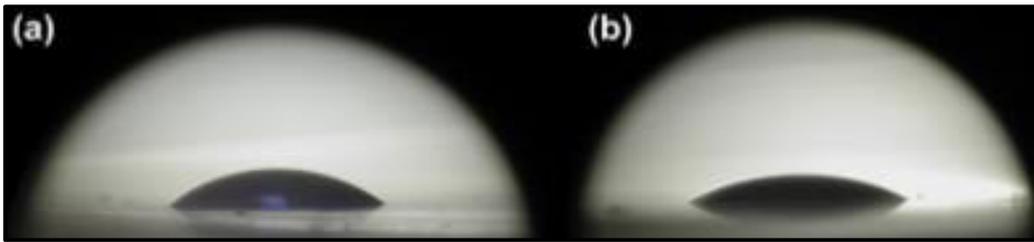


Figura 18- Molhabilidade entre uma superfície polimerica e uma tinta à base de água (a) e uma tinta à base de solvente (b)
(Printing on Polymers: Theory and Practice)

Também a viscosidade da tinta influencia a qualidade final de um revestimento uma vez que esta se apresenta como uma propriedade extremamente importante no processo de atomização. (Measurement of Coating Properties and Performance) (ATOMIZAÇÃO E SPRAYS) A viscosidade da tinta nas tintas depende da temperatura uma vez que com o aumento da temperatura a tinta se torna menos viscosa. (Solvent Systems). Na Figura 19 encontra-se ilustrado a influência da temperatura na viscosidade da tinta.



Figura 19- Influência da temperatura na viscosidade da tinta (StudioLaser-Pré-impressão digital)

No caso das tintas à base de solvente também a adição de diluente permite controlar a viscosidade da tinta porque a torna menos viscosa. (Solvent Systems) Nas tintas à base de água, a viscosidade é influenciada pelo tempo de agitação uma vez que quando se agita a tinta esta apresenta viscosidade mais elevada. A viscosidade da tinta influencia diretamente a deposição de tinta pois altera a estabilidade das folhas de *spray* e afeta a qualidade da atomização a jusante. (Effect of viscosities on structure and instability of sprays from a swirl atomizer) O aumento da viscosidade da tinta dificulta e atrasa a desintegração da folha de tinta líquida que é expelida (Figura 20) em gotículas de tinta. Deste modo, as tintas com maior viscosidade apresentam um cone de pulverização mais elevado do que as menos viscosas. (VISUALIZATION AND COLLECTION OF OVERSPRAY FROM AIRLESS SPRAY PAINTING)

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

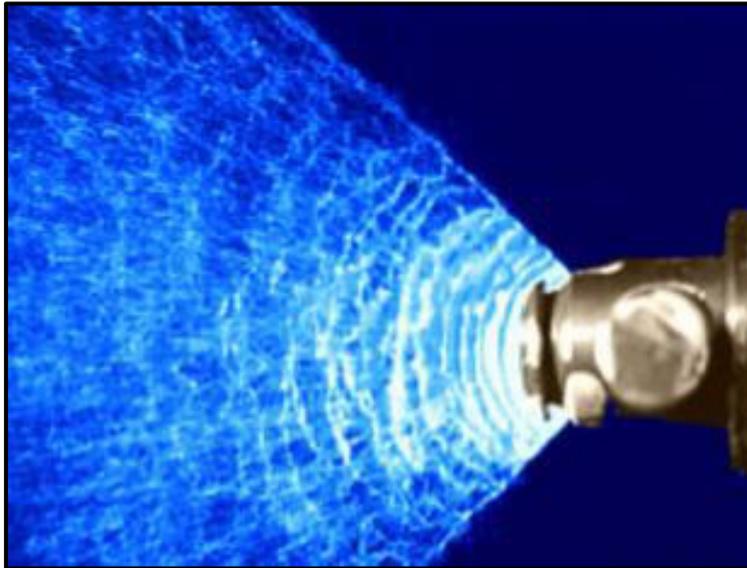


Figura 20- Folha de tinta líquida expelida por uma pistola de pulverização sem ar (VISUALIZATION AND COLLECTION OF OVERSPRAY FROM AIRLESS SPRAY PAINTING)

2.6. Influência da peça no processo de pintura

A peça a pintar também desempenha um papel importante no processo de pintura. O sucesso da aplicação de uma camada de tinta uniforme numa peça depende da sua forma, geometria e do material que a constitui. De modo a garantir um revestimento uniforme e obter um processo de pintura eficaz é necessário garantir que existe adesão entre a tinta e o substrato da peça a revestir.

A adesão é um parâmetro importante no processo de pintura porque garante a união entre a tinta e a peça plástica, reduzindo a ocorrência de defeitos relacionados com a aplicação de tinta e diminuindo a quantidade de *overspray* produzido. A adesão está relacionada com a interação entre a tinta e o substrato porque depende da tensão superficial de ambos. Para que se atinja um bom revestimento é necessário que a tensão superficial do sistema de pintura e do substrato de plástico correspondam. Quanto mais elevada for a tensão superficial do substrato maior é a adesão entre este e a tinta a ser aplicada. A rugosidade da superfície é também importante para promover a adesão pois quanto mais rugoso for o substrato maior será a adesão. As condições de processamento das peças também são importantes na promoção da adesão uma vez que esta é influenciada pela temperatura do molde, velocidade de injeção e pela temperatura do fundido.

A forma e a geometria das peças desempenham um papel importante na distribuição de espessura de tinta nas peças uma vez que a presença de nervuras evita a criação de marcas profundas nas peças que se tornem visíveis após aplicação do revestimento, a presença de ângulos de saída evita o uso de agentes desmoldantes que influenciam a adesão e a molhabilidade. As linhas de soldadura das moldações e a

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

posição dos pontos de injeção devem ser colocadas de modo a assegurar a estética da peça, diminuindo a ocorrência de defeitos de pintura. (Painting Guide)

Capítulo 3

O Processo de Pintura na Delphi

3.1. A área de pintura na Delphi

O processo de pintura na Delphi ocorre numa sala denominada *white room*. É uma sala com ambiente controlado e níveis de contaminação reduzidos que foi criada com o intuito de evitar o contacto de poeiras e agentes de contaminação com as peças pintadas quando estas entram e saem da linha de pintura, evitando a ocorrência de defeitos.

Antes de os carrinhos carregados com as peças a pintar entrarem nesta sala, passam pelo *air shower* de modo a serem limpos com ar ionizado. No interior desta sala, os operadores de pintura utilizam um fato isento de fibras e uma touca para o cabelo de modo a evitar a contaminação das peças por poeiras, pós e cabelos. A porta de acesso a esta sala contém um *air shower* para que as pessoas sejam limpas com ar antes de entrarem para o interior da sala.

Previamente à pintura das peças é necessário realizar o *Setup* de pintura e carregar as peças no equipamento. Assim que os parâmetros de *Setup* se encontrem ajustados é necessário carregar as peças no equipamento de pintura e limpá-las. Para isso, o operador começa por retirar do carrinho as redes que se encontram num nível inferior e utiliza um espanador de penas de avestruz fêmea e ar ionizado de modo a remover todas as contaminações e estática presentes nas peças. Começa-se por carregar as peças que se encontram num nível inferior de modo a evitar que os resíduos que se depositam no local onde apoia a rede e na rede sejam depositados nas peças de nível inferior.

Na Figura 21 encontra-se ilustrado o percurso percorrido pelas peças no processo de pintura.

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

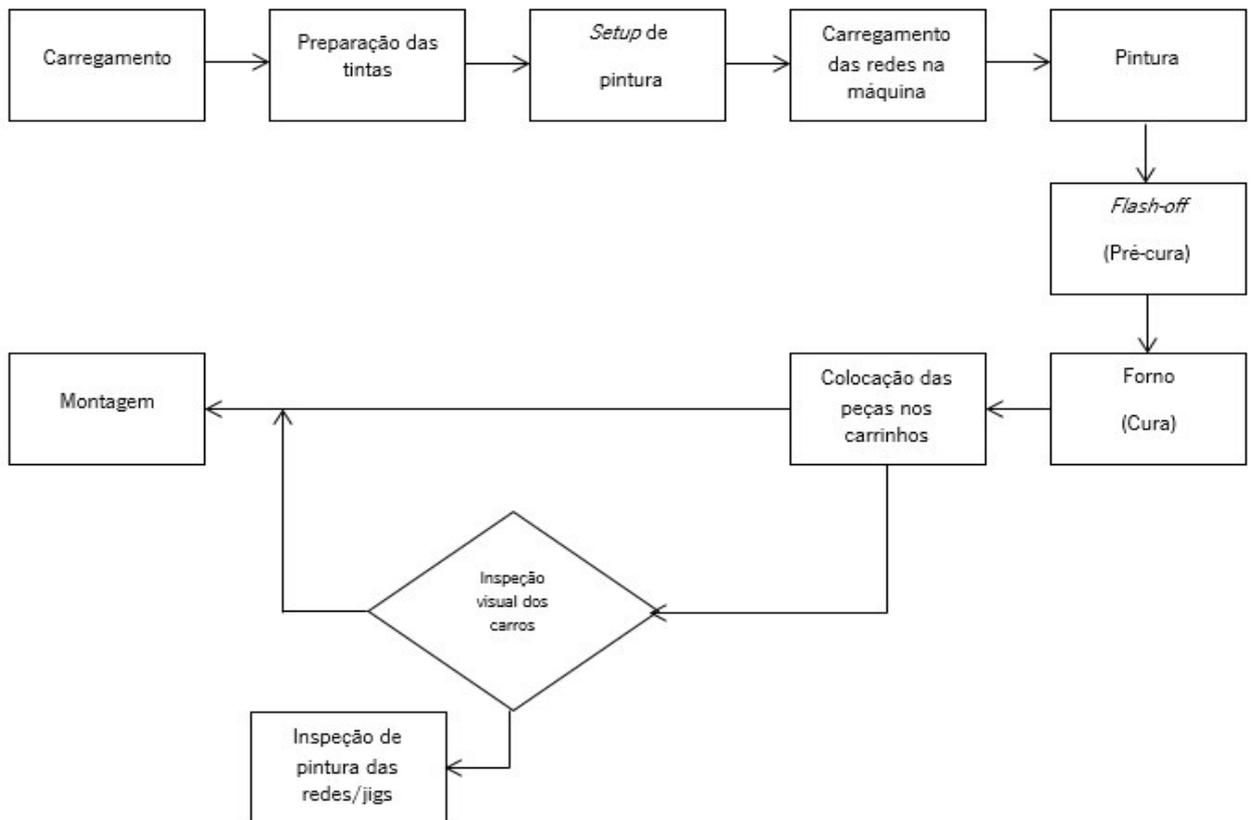


Figura 21- Fluxo percorrido pelas peças no processo de pintura

3.2. O Equipamento de pintura na Delphi

Na *white room* existem duas máquinas de pintura: *Sprimag 1 e 2* com o *sistema 2K (2 componentes)* que permite que a mistura dos componentes ocorra de modo automático. No entanto na *Sprimag 1*, a mistura dos componentes pode também ocorrer de modo manual.

Os equipamentos de pintura diferem na sua constituição uma vez que um dos equipamentos, a *Sprimag 1*, é constituído pela cabine de pintura e um forno interno que permite que a cura ocorra por UV, proporcionando peças com uma maior qualidade uma vez que estas quando são retiradas da máquina já se encontram secas. A *Sprimag 2* é constituída pela cabine de pintura e não contém forno interno pelo que, após o processo de pintura, as peças são retiradas e colocadas em fornos externos para completar o processo de cura. Neste caso, as peças produzidas são mais suscetíveis a originar defeitos uma vez que quando as peças são retiradas do equipamento de pintura e transportadas para os fornos externos não se encontram totalmente secas.

Para realizar o processo de pintura das peças a estudar no presente trabalho utilizam-se os dois equipamentos de pintura uma vez que para realizar o processo de pintura do Botão *Eject VW MIB* utiliza-se a *Sprimag 1*. Este equipamento utiliza uma pistola de referência *S-333* que contém um bico *0,8 NK9*. O

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

processo de cura ocorre no forno interno, por convecção térmica, durante 30 minutos a 90° C. O processo de pintura dos botões *Porsche* e das lentes *VOLVO-311/283* ocorre na *Sprimag 2*. Neste equipamento, após o processo de pintura, as peças são retiradas e colocadas num dos fornos externos existentes a cerca de 90°C para completar o processo de cura. Nestes produtos, o processo de cura ocorre por convecção térmica durante 30 minutos. Esta máquina utiliza a mesma pistola que a *Sprimag 1*, no entanto os bicos utilizados são diferentes. Para o processo de pintura dos Botões *Porsche* o bico que se utiliza tem referência *0,8 NK45* enquanto que para o processo de pintura das lentes *VOLVO HUD* se utiliza um bico de referência *1,2 Hydro*. O método de aplicação de tinta utilizado em cada maquina de pintura é o *HVLP*. Cada máquina é constituída por uma cabine de pintura onde se realiza o processo de pintura. No interior desta existe um fluxo de ar, proveniente do teto com o objetivo de empurrar as partículas resultantes do overspray para a água que se encontra em movimento na parte inferior. A cabine de pintura possui dois braços, um que sustenta a pistola e outro que sustenta a rede. O braço que sustenta a pistola, ao deslocar-se permite a movimentação desta no eixo X. Já o braço que sustenta a rede ao deslocar-se no eixo Y permite a mobilidade desta neste eixo e em rotação, de modo a que todos os quatro lados das peças sejam pintados.

3.3. Validação do Setup de pintura

Sempre que se inicia a pintura de um novo projeto é necessário uma configuração inicial do *Setup*. Por outro lado, quando as peças já estão validadas e em produção é necessário uma configuração normal do *Setup* sempre que se inicia o processo de pintura das peças.

Quando se realiza uma configuração inicial de *Setup* é necessário um tempo considerável pois trata-se de um processo mais elaborado. Este processo consiste na pintura de peças com os requisitos necessários para serem aprovadas nos testes de validação, por isso, é necessário que o *Setup* seja otimizado tanto quanto possível a fim de encontrar as condições ideais para o processo de pintura. Posto isto, é possível preencher as *Fichas de Setup* com os respetivos valores (Anexos 1 a 3). Cada produto a pintar tem uma ficha de *Setup* para cada camada de tinta que o constitui.

A configuração normal do *Setup* realiza-se no momento em que se inicia a pintura de uma determinada peça ou quando se troca de peça a pintar e é um processo mais rápido. Neste processo, o operador faz nova tinta e altera os parâmetros do equipamento de pintura e do processo de acordo com os valores que constam na ficha de *Setup* inicial, realizando os ajustes necessários. Sempre que se efetue algum ajuste ao processo, este deve ser descrito na ficha preenchida em cada *Setup*. Também é necessário medir a viscosidade da tinta à temperatura mencionada na Ficha de Setup e proceder ao seu ajuste de modo que o valor registado esteja dentro do intervalo especificado na *Ficha de Setup*. Para que os *Setup's* sejam validados e se inicie a pintura das peças é necessário que a espessura de tinta e o brilho das peças, no

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

caso de a peça ter especificações de brilho, estejam dentro das tolerâncias descritas nas *Fichas de Setup*. Também é necessário que o teste de aderência de tinta seja positivo e o *visual check* esteja ok.

Para a medição do brilho e da espessura de tinta, na configuração do *Setup* utiliza-se um *jig* (Figura 22) que contém uma chapa metálica (elemento de controlo) e um cupão plástico devidamente identificado na Figura 22 feito com o mesmo material das peças a pintar, que vão ser pintados para permitir a medição de espessura de tinta e o brilho, respetivamente. O cupão plástico não é usado no presente trabalho. A chapa e o cupão são colados e guardados na *Ficha de Setup*. Para realizar o teste visual e de aderência de tinta utiliza-se uma das primeiras peças pintadas.

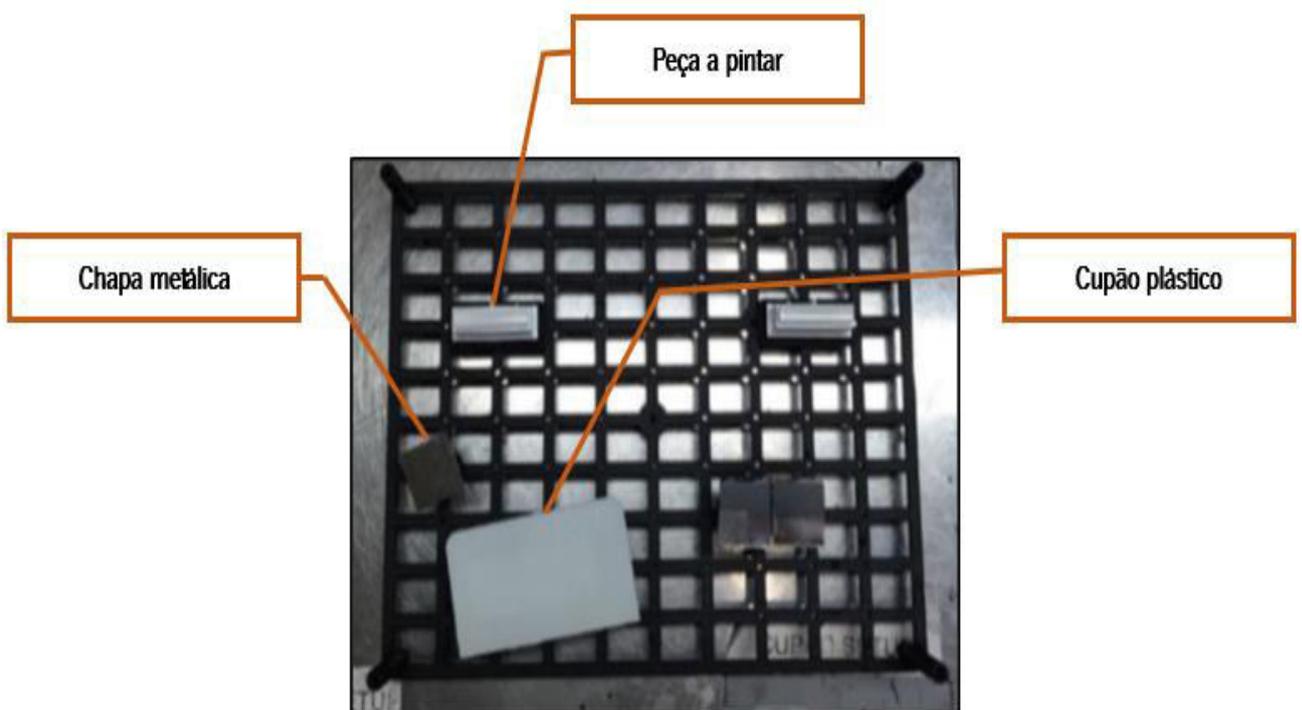


Figura 22- Exemplo de um *jig* usado na validação de um *setup*

Durante a mudança de *Setup* é necessária a limpeza da cabine e sistema de pintura de modo a evitar contaminações no *Setup* seguinte. Para efetuar este tipo de limpeza utiliza-se diluente que percorre todo o sistema de pintura, limpando o interior dos tubos.

3.4. Medição do tempo de escoamento da tinta

Na maioria dos revestimentos, tal como nos utilizados para o processo de pintura dos Botões *Eject VW MIB* e dos Botões *Porsche*, a viscosidade deve respeitar um intervalo especificado na *Ficha de Setup*, que foi determinado em condições normalizadas. A medição do tempo de escoamento da tinta antes da sua

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

aplicação permite verificar se a sua viscosidade se encontra dentro da especificação ou se é necessário ajustá-la, adicionando diluente antes de esta ser aplicado. Na pintura dos botões *Eject VW MIB* e dos *Porsche* a tinta que se utiliza é à base de solvente pelo que é possível controlar a sua viscosidade com a adição de diluente. No caso da tinta utilizada na pintura das lentes *Volvo HUD*, como a tinta utilizada é uma tinta à base de água, não se pode controlar a viscosidade. Neste caso, como durante a preparação da tinta e na medição de viscosidade de tinta a tinta é agitada apresenta maior viscosidade do que no processo de pintura.

Para controlar a viscosidade da tinta na empresa utiliza-se um copo de escoamento *DIV* (Figura 23) pois é um método de medição muito comum e barato. Os copos utilizados para medição da viscosidade de tinta têm capacidade de 44 ml e apresentam um furo na parte inferior de 4 e outros com furo de 6 mm.

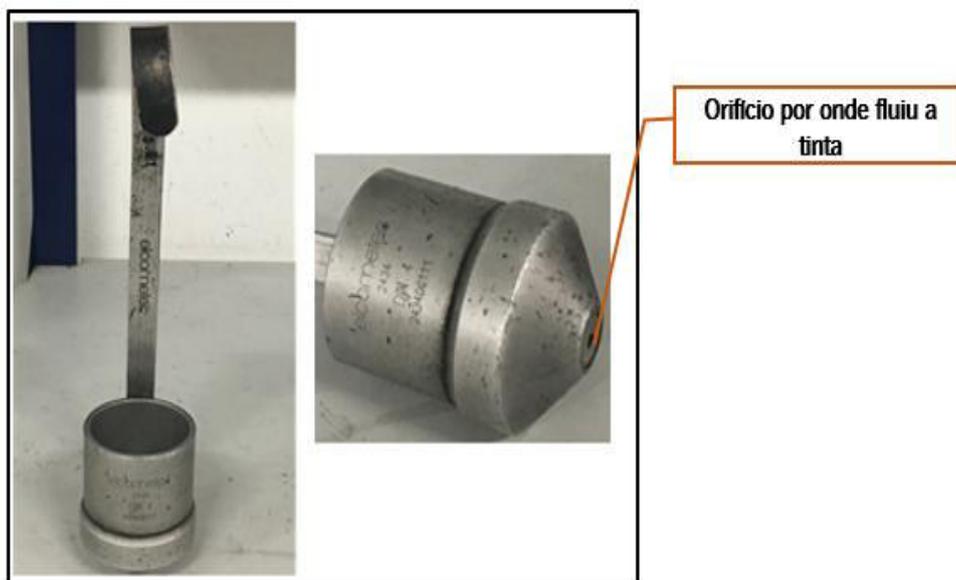


Figura 23- Copo DIN 4

A viscosidade é determinada pelo tempo de escoamento da tinta. Para isso, imerge-se o copo na tinta, enchendo-o completamente e medindo o tempo que o fluxo de tinta existente no copo demora a escoar através do orifício existente no fundo do copo. Assim que o copo é retirado da tinta, inicia-se a cronometragem e esta termina quando todo o fluxo de tinta tiver fluído pelo orifício do copo.

A Norma Standard para realização do teste de medição de viscosidade com este equipamento é a DIN 53211.

Na Tabela 1 encontram-se descritas as principais características das tintas utilizadas na pintura dos produtos em estudo. Nos Anexos 5 a 7 encontram-se as fichas técnicas de cada tinta utilizada.

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

Tabela 1- Principais características das tintas utilizadas no processo de pintura

Produto	Lente HUD	VW MIB	Botões Porsche
Tinta	-	2LL9705000	LD801m-A05
Cor	Preto	Preto	Preto
Densidade (20°C)	-	1,05 – 1,15 g/ml	-
Viscosidade	50-60 s	30 – 50 s, 6mm-cup	90 – 100 s, 4 mm-cup
Pressão da Pistola	-	> 4,5 Bar	3 – 4 Bar
Método de Aplicação	HVLP	HVLP	HVLP
Cura	20-30 min a 80°C	-	30 Min a 80°C
Flash-off	10 min	-	5 – 10 min

3.5. Medição da espessura de tinta

Na configuração do *Setup* mede-se a espessura da tinta pois esta é uma das especificações mais relevantes do processo de pintura uma vez que influencia variados setores e os processos subsequentes.

A espessura da tinta em cada processo de pintura é influenciada pelo *flow-rate*, pela viscosidade da tinta, pela temperatura e humidade da cabine de pintura. Como a espessura de tinta varia ao longo do *Setup* e das peças é extremamente difícil a obtenção de peças com espessura uniforme. Por isso, para se conseguir controlar a espessura das peças, efetuam-se cinco medições de espessura ao longo da chapa metálica de modo a obter um valor de espessura médio.

Para medição da espessura de tinta na validação do *Setup* utiliza-se uma chapa metálica porque o equipamento usado na empresa para a medição de espessura de tinta utiliza princípios magnéticos para medir a espessura em metais ferrosos e não ferrosos, com precisão e rapidez. Por isso, o elemento de controlo utilizado na empresa para o controlo de espessura de tinta é a chapa metálica.

O equipamento utilizado é um medidor de espessura *Positector 6000* (Figura 24).

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS



Figura 24-Medidor de espessura Positector 6000

Capítulo 4

Experimental

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

Na Figura 25 encontram-se representadas as principais etapas que constituem a componente experimental do presente trabalho.

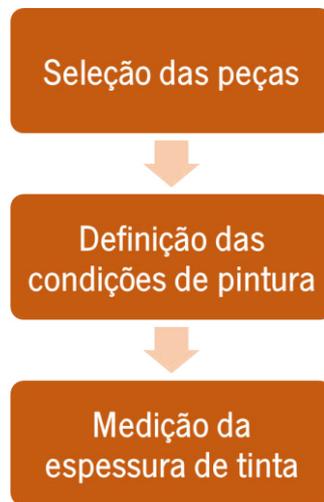
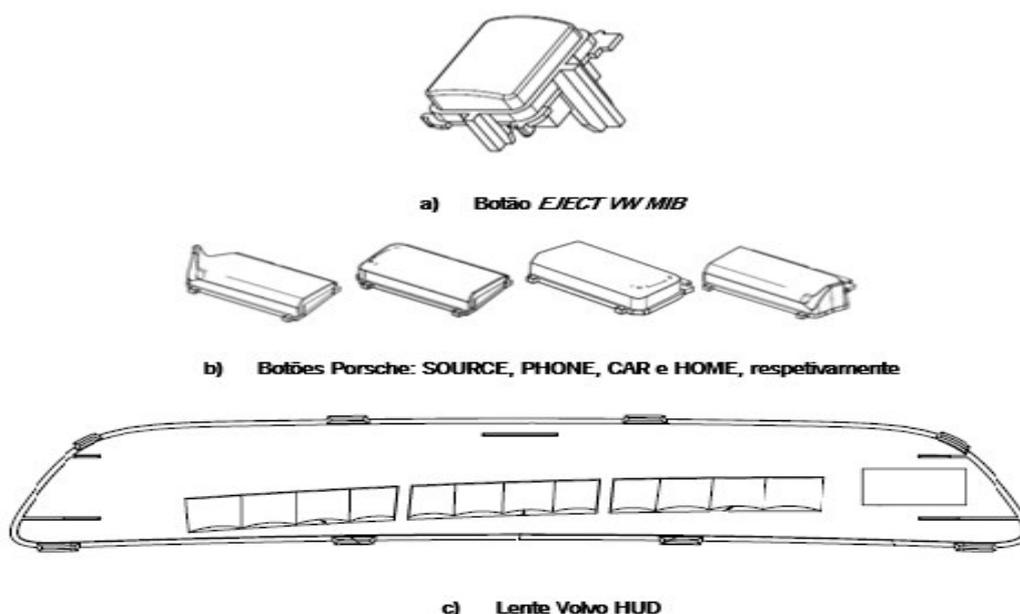


Figura 25- Principais etapas da componente experimental

4.1. Seleção das peças

As peças plásticas escolhidas para estudar no presente trabalho são as apresentadas na Figura 26. Escolheram-se peças representativas da variedade de geometria produzida na empresa. A escolha recaiu em dois tipos de botões, que são dos produtos mais produzidos na empresa e numa lente que apresenta geometria muito distinta dos botões. Além disso, escolheram-se peças que após o processo de pintura são sujeitas ao processo de remoção de tinta por laser uma vez que a espessura de tinta tem influência sobre este processo.



ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

Figura 26- Peças selecionadas para estudar no presente trabalho

Olhando para a figura anterior facilmente se percebe que no caso do botão *Eject VW MIB* e na Lente *Volvo HUD* escolheu-se somente um produto e no caso dos botões Porsche escolheu-se quatro produtos. Isto ocorreu porque no caso do botão *Eject VW MIB* a blenda apenas é constituída por um botão como se pode verificar na Figura 27.



Figura 27- Blenda VW MIB montada, com identificação do botão a estudar

Para montar uma blenda são necessários conjuntos de quatro botões distintos, como se pode verificar na Figura 28.



Figura 28- Blenda Porsche montada, com identificação dos botões a estudar

Como o carregamento de cada conjunto de 4 botões é executado num *jig* específico, optou-se por estudar um conjunto de quatro botões para evitar a formação de *jigs* incompletos, que na montagem final darão

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

origem à formação de blendas incompletas. Para realizar o carregamento dos botões estudados neste presente trabalho utiliza-se o *jig* denominado de *SB2*. Neste *jig*, efetua-se o carregamento de seis conjuntos destes 4 botões, como se verifica na Figura 29.

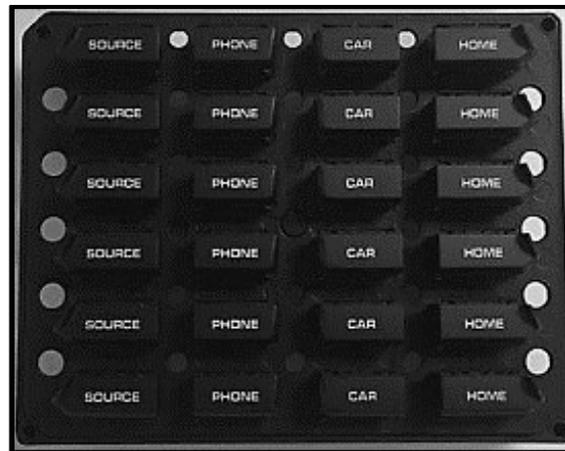


Figura 29- *Jig SB2* carregado com os botões Porsche

Depois de escolhidas as peças a estudar, foi necessário visualizar um esquema das peças a estudar de modo a perceber quais são as principais dimensões da superfície da peça a revestir.

Na Figura 30 encontra-se um esquema do Botão *Eject VW MIB* com as principais dimensões, em *mm*, do substrato a revestir com tinta.

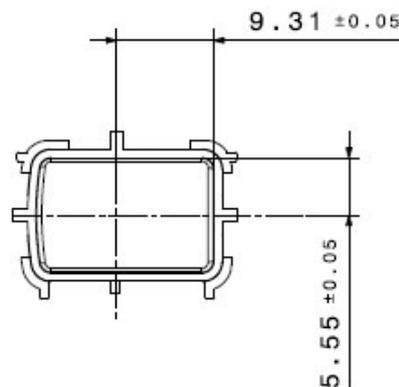


Figura 30- Principais dimensões do botão *EJECT VW MIB*

Este botão é constituído por um PC de referência *Sitralon (PC) 16 E-TF10-HK/CO9016 White* que contém 10 % de *PTFE* com cor translúcida. Esta matéria-prima foi criada exclusivamente para a produção deste botão.

Na Figura 31 é possível visualizar um esquema de cada um dos botões Porsche a estudar que contém as principais dimensões (*mm*).

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

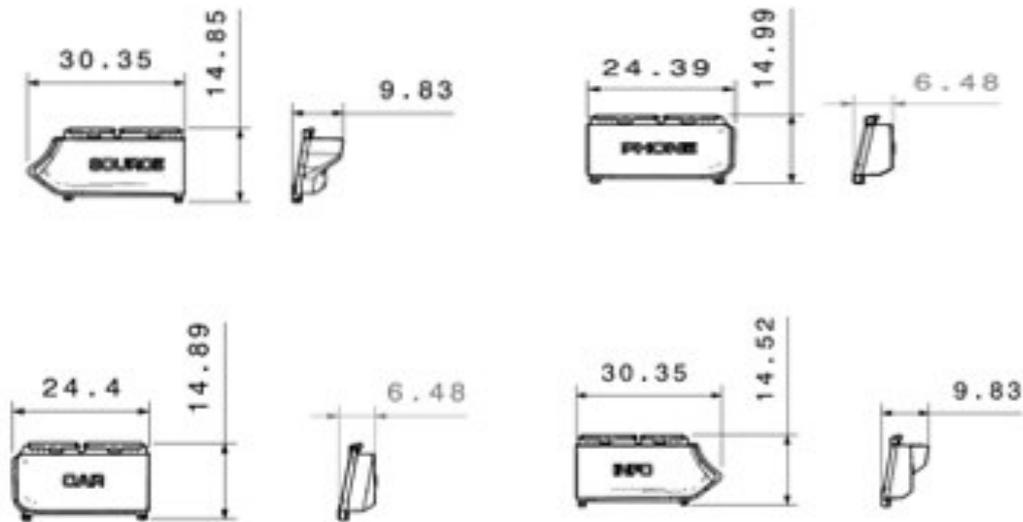


Figura 31- Esquema com as principais dimensões dos Botões SOURCE, PHONE, CAR e INFO, respetivamente.

A matéria-prima utilizada para produzir cada um destes botões é um PC de *grade LEXAN 123R white*.

O esquema da lente *VOLVO HUD* com as principais dimensões (*mm*) da área a revestir com tinta encontra-se representado na Figura 32.

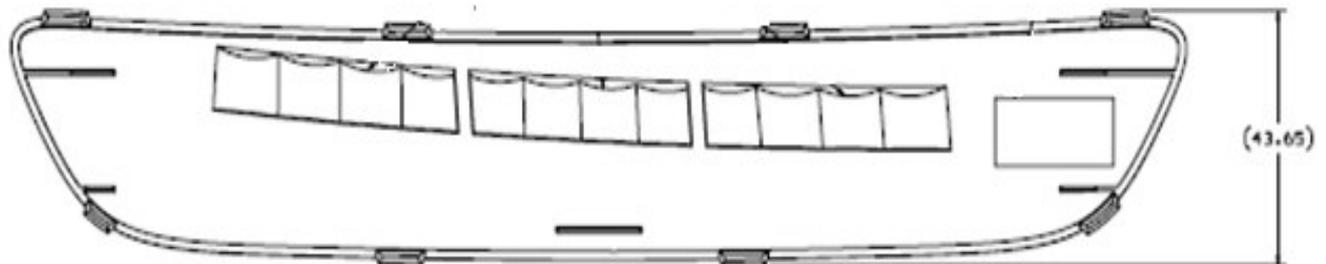


Figura 32- Desenho técnico da lente *VOLVO HUD*

A matéria-prima utilizada para produzir as lentes é um um PC translucido de referência *RTP 0399 X 117957 S-27551 Translucent White*.

4.2. Procedimento Experimental

4.2.1. Preparação das peças

Antes de iniciar o processo de pintura das peças plásticas é necessário prepara-las para que após o processo de pintura se consiga medir espessura de tinta da camada de tinta que lhe foi aplicada. Pois conforme mencionado anteriormente, o equipamento utilizado para medição de espessura de tinta na empresa só permite medir a espessura de tinta em metais, por isso, para medir a espessura de tinta nas

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

peças plásticas foi necessário revesti-las com um componente metálico de modo a não alterar a sua geometria inicial.

O componente metálico utilizado para revestir as peças foram as chapas metálicas iguais às que se utilizam como elemento de controlo na medição de espessura de tinta na validação do *Setup*. Na Figura 33 encontra-se o elemento metálico utilizado. Para fixar o componente metálico à peça plástica utilizou-se uma fita adesiva.

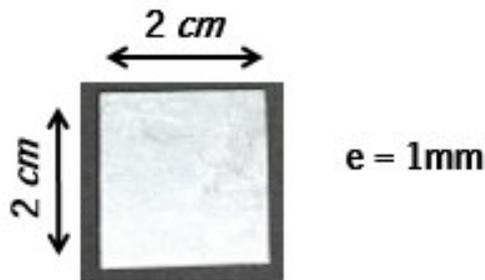


Figura 33-Elemento metálico utilizado para revestir as peças plásticas

Para revestir a superfície a pintar do Botão *Eject VW MIB* utilizou-se uma chapa metálica uma vez que é suficiente para cobrir toda a superfície. Na Figura 34 encontra-se um botão *Eject VW MIB* revestido com o componente metálico.

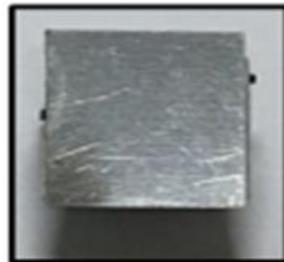


Figura 34- Botão Eject VW MIB revestido com o elemento metálico

Para revestir cada um dos botões *Porsche* utilizou-se uma chapa metálica apesar de a dimensão da superfície a revestir ser ligeiramente superior à dimensão da chapa metálica. O elemento metálico foi posicionado na zona central, local onde o laser atua para remover a tinta. Na Figura 35 encontram-se os quatro botões *Porsche* revestidos com o componente metálico.



Figura 35- Botões SOURCE, PHONE, CAR, INFO revestidos com o componente metálico, respetivamente

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

No caso das lentes *Volvo HUD*, a dimensão da superfície a revestir é muito superior à dimensão do componente metálico, pelo que para revestir toda a superfície a pintar era necessário utilizar muitas chapas metálicas. Assim, como o mais importante neste trabalho é estudar a variação de espessura de tinta nas áreas que são sujeitas ao processo de laser, optou-se por revestir somente as zonas da superfície onde é executado o laser. Na Figura 36 encontra-se uma lente revestida com o componente metálico.



Figura 36- Lente *VOLVO HUD* revestida com o componente metálico

Durante o revestimento das peças plásticas, foi importante preservar a sua geometria inicial de modo a que esta não tenha influência na distribuição de espessura de tinta na superfície das peças plásticas.

Depois de estarem revestidas com o componente metálico, as peças são carregadas e limpas de acordo com o procedimento realizado na zona de carregamento e de pintura.

4.2.2. Definição das condições de pintura

A componente experimental deste trabalho centrou-se na realização de dois estudos.

Inicialmente, estudou-se a variação de espessura de tinta obtida nas peças plásticas e nos elementos de controlo durante a produção de um lote de pintura de modo a estabelecer relação entre a espessura de tinta obtida nas peças plásticas e nos elementos de controlo. Para isso, foi necessário realizar a medição de espessura de tinta nos elementos de controlo e nas peças plásticas no início, no meio e no final da produção de um lote de pintura. Para medir a espessura de tinta nos elementos de controlo no início da produção de um lote de pintura procedeu-se do mesmo modo que se procede na validação do *Setup*. Para medir a espessura de tinta no meio e no final do processo, coloca-se um *jig* semelhante ao utilizado na validação do *Setup* contendo somente o elemento de controlo e repete-se o procedimento utilizado na validação do *Setup* no meio e no final da produção de um lote de pintura.

Para quantificar a variação de espessura de tinta nas peças plásticas durante a produção de um lote de pintura, começou-se por estudar a variação de espessura de tinta existente nos *jigs* e nas redes no início, no meio e no final de cada produção. Como os botões são carregados em *jigs* é necessário estudar a variação de espessura de tinta existente nos *jigs* e nas redes uma vez que os *jigs* depois de estarem carregados, são colocados nas redes para serem transportados para o processo de pintura. No caso das lentes, apenas se estuda a variação de espessura de tinta ao longo da rede uma vez que estas, devido à sua dimensão, são carregadas em redes.

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

Para estudar a variação de espessura de tinta nos jigs e nas redes é necessário alocar as peças com revestimento metálico em posições extremas e opostas e na posição central do *jig* e da rede uma vez que é esperado que na posição central se deposite maior quantidade de tinta e nas extremidades se deposite menor quantidade de tinta uma vez que no centro existe maior probabilidade de sobreposição de camadas de tinta do que nos extremos porque aqui parte da tinta que é debitada pela pistola não atinge a superfície a pintar.

Na Figura 37 encontram-se alocadas nas posições 1, 2 e 3 as peças do botão Eject VW MIB a estudar neste trabalho.

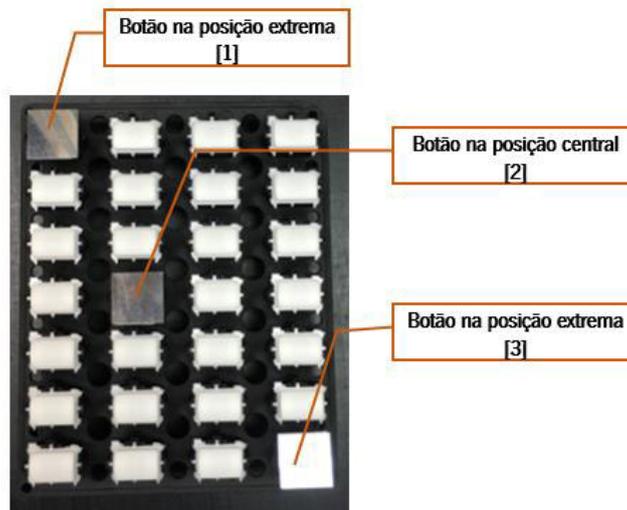
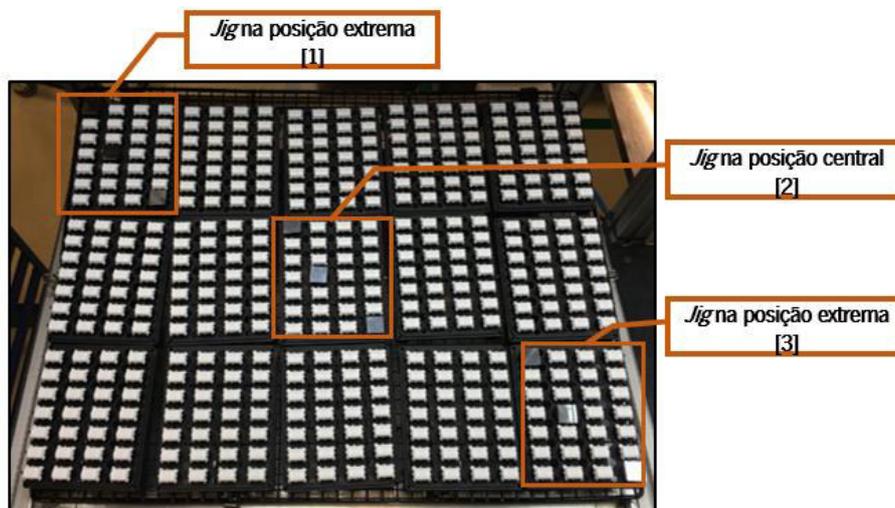


Figura 37- Disposição dos botões *Eject VW MIB* com revestimento metálico num *jig*

Para estudar a distribuição de espessura de tinta ao longo de uma rede é necessário medir a espessura de tinta nas peças carregadas nos *jigs* que se encontram posicionados nas posições extremas e centrais da rede (Figura 38).



ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

Figura 38- Distribuição dos jigs contendo os botões *Eject VW MIB* numa rede, com destaque para os jigs a estudar

Para estudar a variação de espessura de tinta nos botões *Porsche* estudou-se a variação de espessura de tinta existente nos jigs e nas redes. Com o intuito de estudar a variação de espessura de tinta presente num jig alocam-se as peças com chapa metálica nas posições indicadas na Figura 39. Neste caso, não se posicionam peças na posição central porque não existe uma posição central para todas as peças.

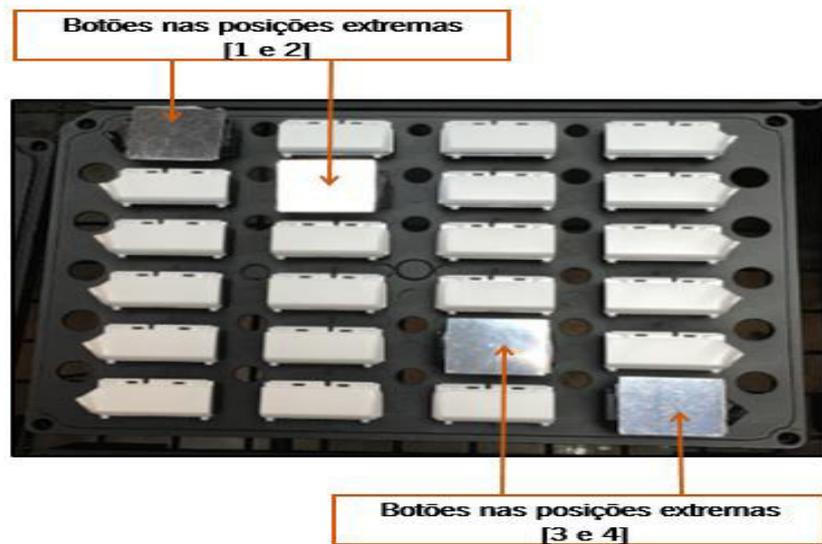


Figura 39- Disposição dos botões Porsche num jig, com identificação das peças a estudar

Com o intuito de estudar a variação de espessura de tinta existente numa rede distribuem-se os jigs que contêm as peças com chapa metálica nas posições indicadas na Figura 40.

Neste caso, não se alocou um jig a posição central porque não existe somente um jig na posição central. Assim, estudou-se a distribuição de espessura de tinta nas peças posicionadas num jig próximo da posição central.

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

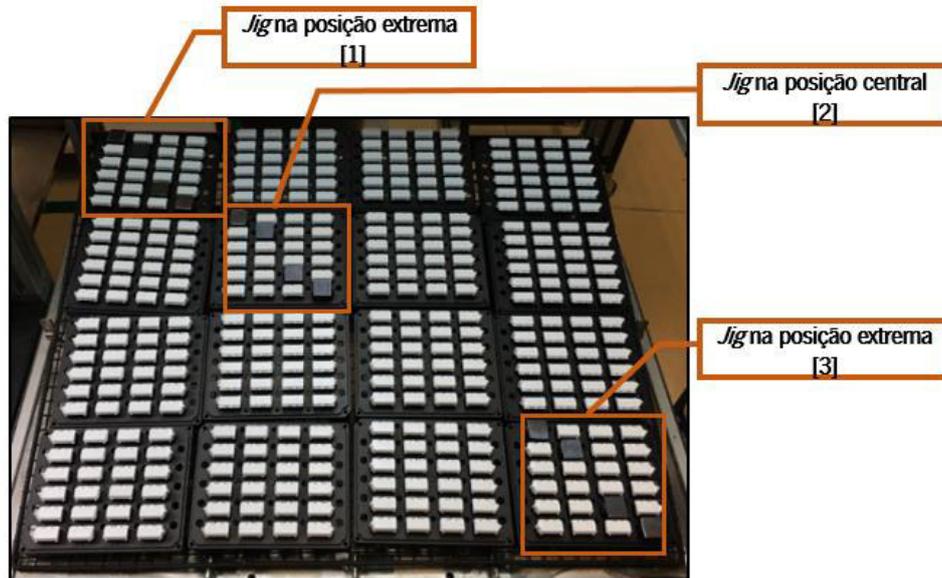


Figura 40- Distribuição dos jigs que contêm os botões Porsche numa rede, com destaque para os jigs a estudar

Para estudar a variação de espessura de tinta nas lentes *Volvo HUD* é necessário medir a espessura de tinta nas peças plásticas posicionadas ao longo de uma rede. Para isso, posicionam-se as peças com a chapa metálica nas posições extremas e na posição central da rede. Na Figura 41 é possível visualizar a distribuição das peças plásticas numa rede destacando as peças com revestimento metálicas utilizadas para medição de espessura de tinta.



Figura 41- Distribuição das lentes VOLVO HUD na rede de pintura

Como apenas os botões *MIB* são pintados na máquina que contém forno interno, nos restantes projetos, as peças após serem pintadas são sujeitas ao *flash-off*. Depois de terminar o processo de pintura no interior do equipamento, as peças são colocadas em carrinhos que se encontram ao ar e assim que estes estiverem

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

preenchidos são colocados nos fornos externos para terminar o processo de cura. Assim, nestes produtos é necessário estudar se o tempo de *flash-off* tem influência na distribuição de espessura de tinta.

A Figura 42 permite visualizar a distribuição das redes nos carrinhos, com identificação da primeira e última rede a pintar.

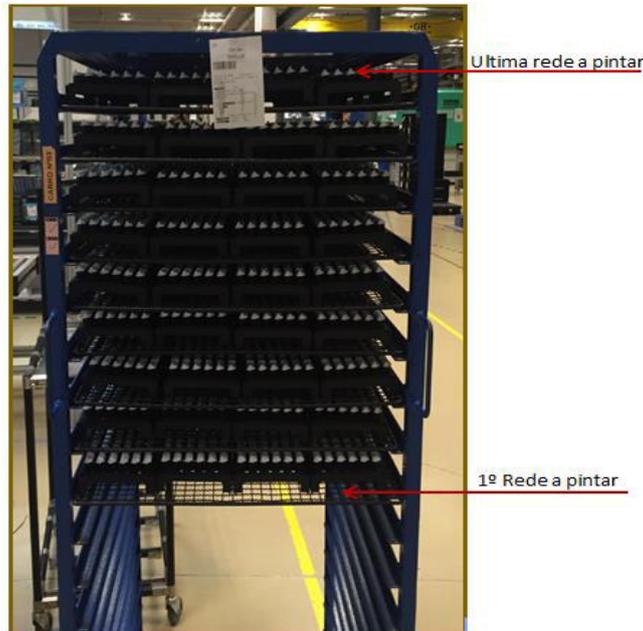


Figura 42- Carrinho onde se carregam as redes para serem pintadas

As peças que se encontram aloçadas na última rede do carrinho são as primeiras a ser sujeitas ao processo de pintura, estando sujeitas a um *flash-off* mais longo do que as peças que se encontram na primeira rede do carrinho (última rede a ser pintada). Por isso, para estimar a influência do *flash-off* na variação de espessura de tinta nas peças plásticas decidiu-se colocar nas mesmas posições três peças com revestimento metálico na primeira e na última rede do carrinho. Após o processo de pintura, mediu-se a espessura de tinta em cada uma das peças.

Em cada lote de pintura, retirou-se uma peça pintada e guardou-se em caixas de modo a não sofrer desgaste para numa fase posterior ser utilizada para medição de espessura de tinta através da Microscopia Ótica. Para obter os dados necessários para realização deste estudo foi necessário realizar a produção de doze lotes de pintura para cada produto em estudo.

Neste estudo, mediu-se também a viscosidade da tinta no início e no final de cada produção de pintura a fim de verificar se esta sofre variações significativas e se a sua variação influencia a distribuição de espessura ao longo de um processo de pintura.

Paralelamente, foi realizado um segundo estudo com o intuito de perceber a influência dos parâmetros mais relevantes do processo de pintura na distribuição de espessura de tinta nas peças plásticas. Para

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

realizar o estudo foi necessário definir um conjunto de condições de pintura para o processo de pintura do *Botão Eject VW MIB*. Ao longo do processo de pintura procederam-se a alteração das variáveis de pintura que mais influenciam a distribuição de espessura e mediu-se a espessura de tinta obtida nas peças plásticas para cada condição definida. As variáveis do processo que sofreram alteração ao longo do processo de pintura foram o *Flow Rate*, a *Atomização* e o *Fan*, que são variáveis relacionadas com as pistolas de pintura. As variáveis mais influentes na variação de espessura foram escolhidas depois de uma pesquisa bibliográfica e com a ajuda do orientador e do responsável pela pintura na empresa. Para se proceder a alterações no valor de *Flow Rate* debitado pela pistola, é necessário alterar a abertura da pistola pois há medida que esta aumenta, aumenta o *Flow Rate* debitado e vice-versa. Para controlar os valores de pressão de Atomização e do leque (*Fan*) utiliza-se um manómetro de pressão que permite ao sistema de pintura fornecer maior ou menor quantidade de pressão para transformar o líquido em pequenas partículas de tinta numa atmosfera gasosa.

Definiram-se, então, nove condições de pintura, sendo que numa se utilizou os valores das variáveis que constam na *Ficha de Setup* (Anexo 1). Assim, nesta experiência utilizou-se a pressão de Atomização a 3.6 bar, Fan Pressure a 3.6 bar e o Flow Rate a cerca de 73 ml/min.

Para definir as restantes condições, decidiu-se utilizar um intervalo de variação de modo a que os seus limites correspondam a um valor superior e inferior ao valor especificado na *Ficha de Setup*. Assim, como o sistema deve fornecer uma pressão de Atomização e de Fan de 3.6 bar, o intervalo de pressão que se utilizou para definição das condições de pintura foram o intervalo de 3.4 e 3.8 bar. De acordo com o mencionado na *Ficha de Setup*, o Flow Rate no processo de pintura deve variar entre 60-80ml/min para que as peças sejam revestidas com uma camada de tinta uniforme. Se a quantidade de tinta debitada pela pistola for inferior a 60 ml/min não será debitada a quantidade suficiente para revestir a superfície a pintar. Por isso, para se definir as condições de pintura a utilizar neste estudo decidiu-se variar o Flow Rate entre 70 ml/min e 90 ml/min.

Na Tabela 2 encontram-se definidas as condições de pintura utilizadas neste estudo.

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

Tabela 2- Condições de pintura

Experiência	Atomização (bar)	Flow Rate (ml/min)	FAN (bar)
1	3.8	70	3.8
2	3.8	70	3.4
3	3.8	90	3.8
4	3.8	90	3.4
5	3.4	70	3.8
6	3.4	70	3.4
7	3.4	90	3.8
8	3.4	90	3.4
9	3.6	73	3.8

Para estudar a variação de espessura de tinta nas peças pintadas em cada condição de pintura apresentada anteriormente utilizou-se uma rede contendo um jig na posição central. O jig foi carregado com três peças nas mesmas posições que no estudo anterior: uma peça na posição central e duas nas posições extremas e opostas, como se pode visualizar na Figura 43.

Para concretizar o estudo realizaram-se 5 processos de pintura para cada uma das condições apresentadas. Assim, ao longo estudo foram realizados 45 processos de pintura, sendo utilizadas 123 peças e 45 redes.

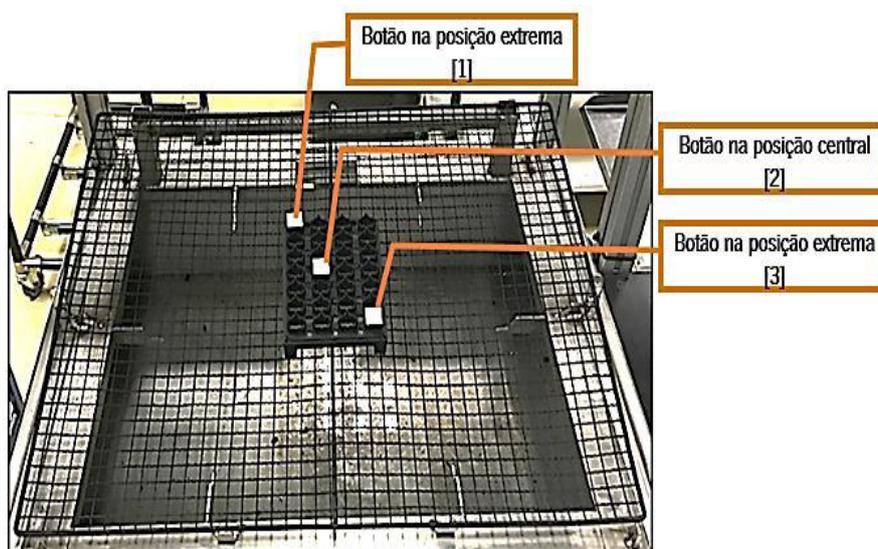


Figura 43-Disposição do jig na rede, com destaque para as peças a estudar a espessura de tinta

Após o processo normal de pintura no interior da máquina, retiraram-se as peças já curadas e mediu-se a espessura de tinta em cada chapa metálica alocada na peça plástica com o medidor de espessura existente na empresa.

4.3. Medição da espessura de tinta pelo equipamento

4.3.1. Preparação das amostras

Para medição da espessura de tinta pelo equipamento não é necessário nenhuma preparação das amostras a não ser a mencionada no ponto 4.2.1.

4.3.2. Metodologia de medição

Durante o processo de pintura, a deposição da camada de tinta ao longo das peças não é uniforme pois existem peças que recebem maior quantidade de tinta. As peças que se encontram na zona central da rede recebem maior quantidade de revestimento do que as peças que se encontram nas zonas mais extremas pois, nestas zonas, parte do leque de tinta que é debitado pelas pistolas não atinge a superfície da peça. Assim, para se obter um valor médio de espessura de tinta utilizam-se várias peças que estão dispostas ao longo da rede.

Também a zona da peça onde se efetua a medição de espessura pode influenciar a distribuição de espessura de tinta uma vez que a peça pode apresentar variação de espessura de tinta ao longo da superfície a revestir. As áreas mais centrais recebem maior quantidade de tinta do que as que se encontram em posições mais extremas. Por isso, é necessário garantir que a medição de espessura ocorre sempre na mesma zona em todas as peças.

A medição de espessura de tinta é realizada com a utilização de um calibre, que garante que a zona da superfície a medir é a mesma em todas as moldações. O calibre apresenta na superfície um orifício com um diâmetro semelhante ao da ponteira do medidor de espessura, permitindo que este encaixe no calibre e se efetue a medição (Figura 44).



Figura 44-Medição de espessura de tinta com o calibre

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

Como o valor de espessura de tinta depende da força que se aplica na ponteira e da inclinação que esta apresenta ao efetuar a medição, os valores de espessura de tinta obtidos apresentam alguma variação. De modo a obter um valor de espessura de tinta médio é necessário efetuar cinco medições.

4.4. Medição da espessura de tinta por microscopia ótica

4.4.1. Preparação das amostras

Previamente à realização da medição de espessura de tinta por Microscopia Ótica de Reflexão foi necessário preparar as amostras a analisar. A técnica utilizada para preparar as amostras foi a técnica do polimento, estando na Figura 45 a metodologia seguida para as preparar. Para proceder ao polimento das amostras utilizou-se a polideira *Struers DAP-7*.



Figura 45-Preparação das amostras

Para preparar as amostras dos botões não foi necessário corta-los para os colar na parte inferior do molde uma vez que estes têm uma dimensão pequena. No caso das lentes, como estas apresentam uma geometria maior do que o molde utilizado, para preparar as amostras foi necessário realizar cortes na zona central e nas extremidades da peça de modo a conseguir cola-las na zona inferior do molde. As amostras foram retiradas nas zonas identificadas na Figura 46.

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

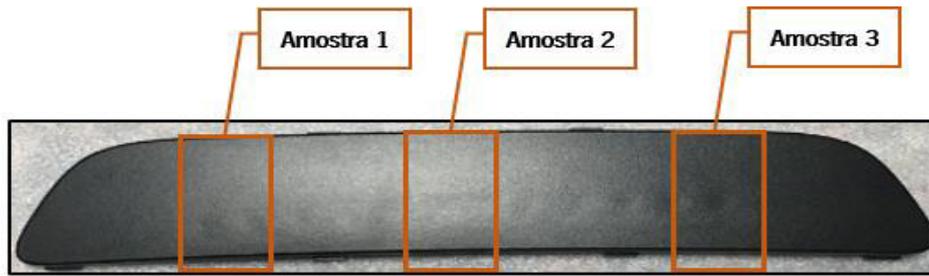


Figura 46- Lente Volvo HUD com identificação das áreas a cortar para a preparação das amostras

Para estudar a variação de espessura de tinta nas peças plásticas com o microscópio ótico foi necessário preparar cinco amostras para o botão *Eject MIB* e cinco amostras para cada um dos botões Porsche. Realizaram-se quinze amostras para as lentes *Volvo HUD*: cinco amostras 1, cinco amostras 2 e cinco amostras 3.

4.4.2. Metodologia de medição

Para medir a espessura de tinta diretamente nas peças plásticas e verificar a fiabilidade das medições da espessura de tinta nas chapas metálicas coladas em cima das peças plásticas obtidas com o medidor de espessura na empresa recorreu-se à Microscopia Ótica. A técnica de microscopia utilizada para a realização do estudo foi a Microscopia de Reflexão com Contraste de Interferência Diferencial (DIC) que é adequada para a análise de superfícies planas e com baixo-relevo. Para visualizar as amostras utilizou-se um Microscópio Ótico de Reflexão *OLYMPUS BH-2* e uma Máquina Digital Leica. A objetiva utilizada foi a *Neo SPlan 20 NIC* e a lente ocular *FK3.3X*.

Mediu-se a espessura da camada de tinta aplicada à superfície da peça. Assim, visualizou-se e analisou-se cada uma das amostras preparadas para cada produto e retirou-se quatro fotografias ao longo da superfície pintada. Na Figura 47 é possível visualizar as zonas da superfície revestida do Botão *Eject VW MIB* onde se retiraram as fotografias e se efetuaram as medições.

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

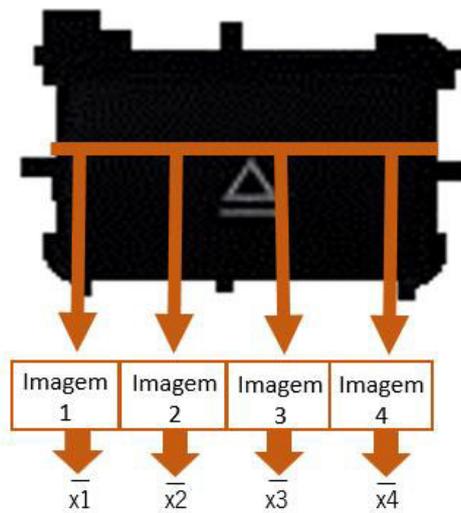


Figura 47- Identificação das áreas onde se efetuam as medições de espessura de tinta no Botão *Eject*

Na Figura 48 encontram-se identificadas as áreas onde se retiram as fotografias para medição de espessura de tinta nos botões *Porsche*.

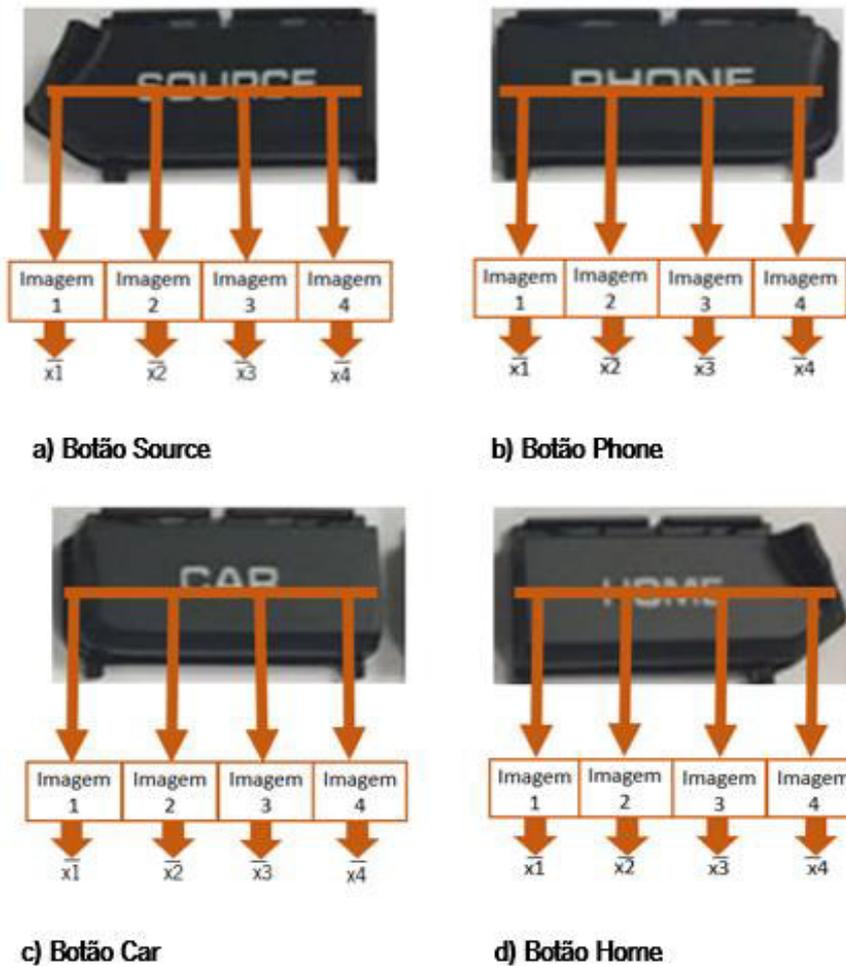


Figura 48- Botões Porsche com identificação das áreas onde se efetua a medição de espessura de tinta

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

Na Figura 49 encontra-se a lente Volvo HUD com identificação das áreas a captar uma imagem para efetuar as medições de espessura de tinta.

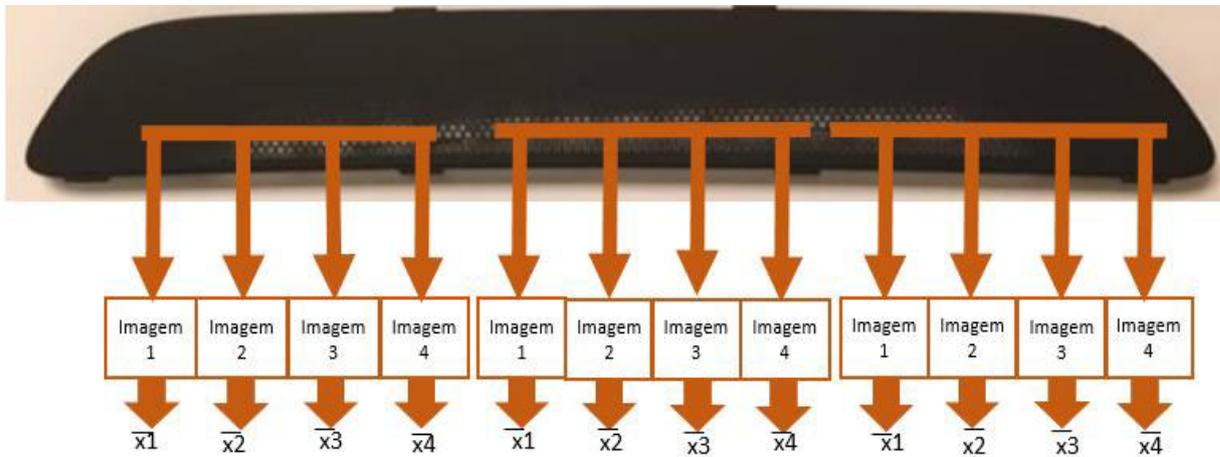


Figura 49- Lente Volvo HUD com identificação das zonas a medir a espessura de tinta

Nas figuras anteriormente apresentadas usaram-se as imagens das peças depois de serem submetidas ao processo de remoção de tinta por laser para demonstrar que a medição de espessura de tinta ocorre na área onde é executado o laser.

Em cada fotografia retirada, efetuou-se cerca de 10 medições de espessura de tinta. No entanto apenas se utilizaram os valores que se encontram dentro da variação da amostra. Deste modo, consegue-se obter valores estatisticamente controlados. Para realizar as medições de espessura da camada de tinta utilizou-se uma ferramenta existente no *Software Leica Qwin V3* que permite obter a espessura de tinta através da medição do comprimento do revestimento.

Na Figura 50 encontra-se um exemplo de uma das imagens retiradas na análise microscópica de uma amostra de um Botão *Eject VW MIB*.

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

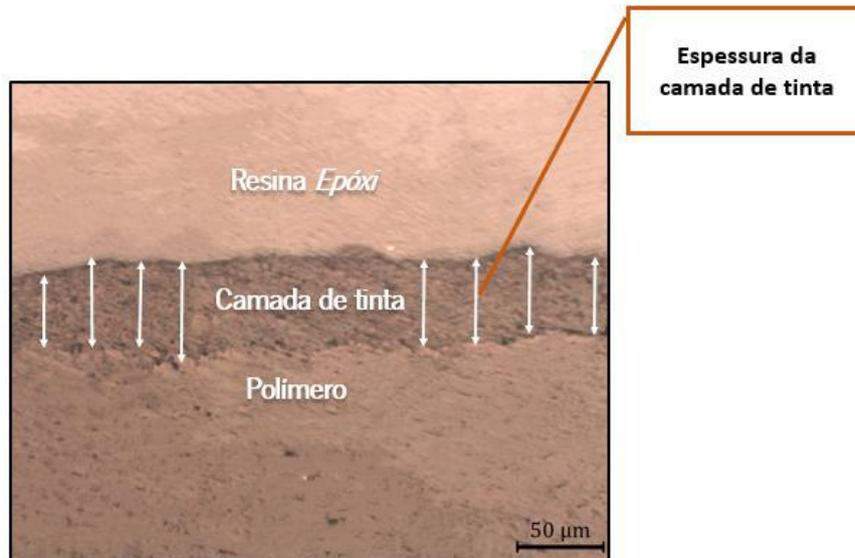


Figura 50- Imagem da análise microscópica a uma amostra do Botão MIB

Observando a figura anterior consegue-se perceber que quer a superfície onde se deposita a tinta quer a camada de tinta depositada apresentam irregularidade. Nesta imagem verifica-se a existência de três camadas com diferentes contrastes, devidamente identificadas, sendo que uma corresponde à resina, uma à camada de tinta e outra ao polímero.

Na Figura 51 encontra-se a imagem anterior mas com as respetivas medições de espessura de tinta.



Figura 51- Imagem da análise microscópica a uma amostra do Botão MIB, com as medições de espessura de tinta efetuadas

Na Figura 52 encontra-se um exemplo de uma das imagens retiradas na análise microscópica de uma amostra de um Botão Porsche e na Figura 53 as medições de espessura correspondentes.

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS



Figura 52- Imagem microscópica da superfície revestida com tinta

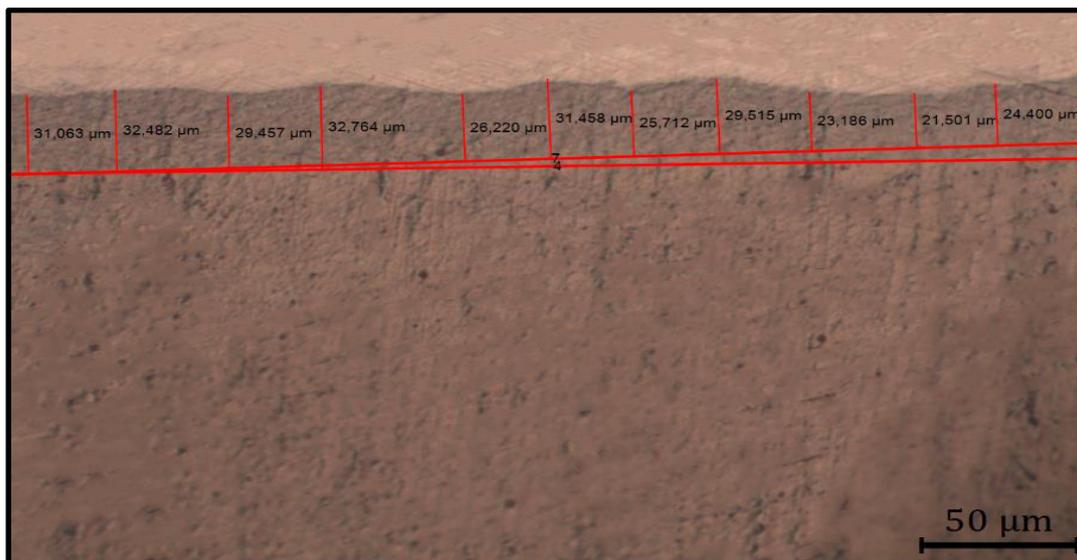


Figura 53- Imagem da superfície pintada contendo as medições de espessura de tinta efetuadas

No caso das Lentes *VOLVO HUD* a imagem retirada da análise microscópica por reflexão não permite fazer a distinção clara entre a camada de tinta e o plástico uma vez que na camada intermédia se verifica a existência de dois contrastes diferentes. Por isso, para se poder fazer uma clara distinção entre ambas as camadas realizou-se um ensaio complementar. O ensaio complementar realizado foi um ensaio de Microscopia de Transmissão de Campo Claro. No Anexo 8 encontra-se a metodologia seguida para a preparação das amostras.

Na Figura 54 encontra-se um exemplo de uma das imagens obtidas através da Microscopia de Transmissão.

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

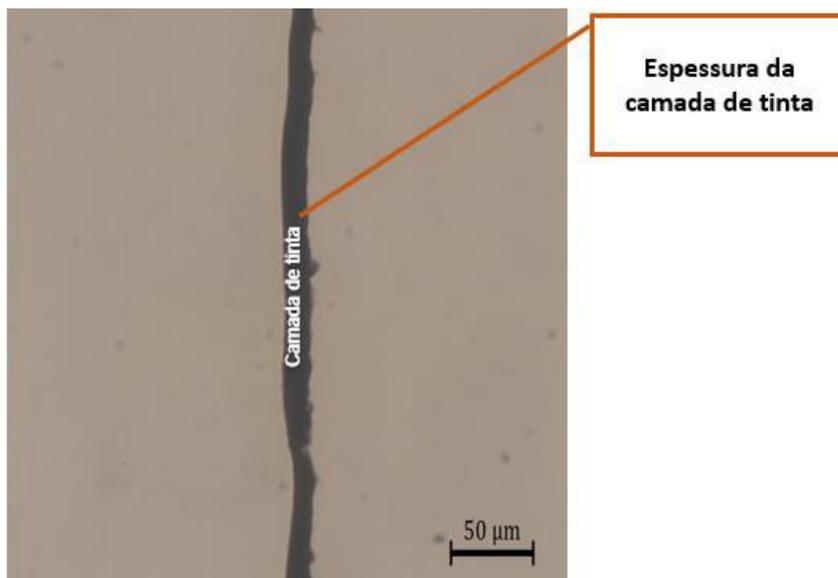


Figura 54- Imagem da análise por Microscopia de Transmissão à lente *Volvo HUD*

Na figura anterior é possível identificar a existência de dois contrastes diferentes, um correspondente à camada de tinta e outro correspondente ao polímero. Observando a imagem verifica-se que a camada de tinta aplicada não é uniforme ao longo da superfície e apresenta irregularidade.

Na Figura 55 encontra-se a imagem apresentada anteriormente mas com as medições de espessura de tinta efetuadas.

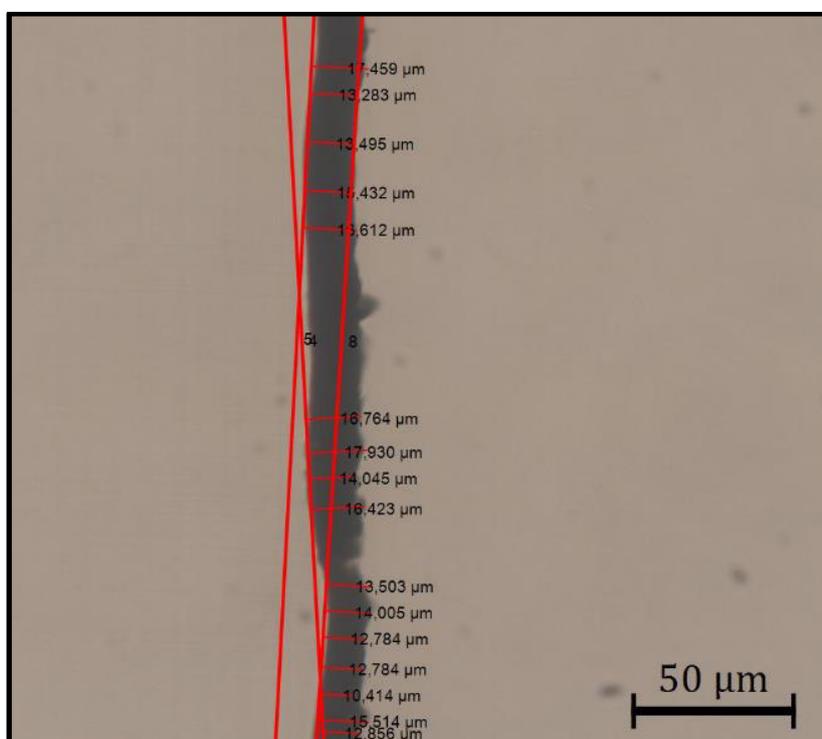


Figura 55- Imagem da análise por Microscopia de Transmissão à lente *Volvo HUD*, com as medições de espessura

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

Após a realização da Microscopia de Transmissão pode-se verificar que a camada de tinta corresponde apenas ao contraste mais escuro que se verifica na Figura 55 e que a restante camada que contém a linha de separação corresponde à peça plástica. Assim, na Figura 56 encontra-se a imagem retirada da Microscopia de Reflexão com identificação das camadas existentes.

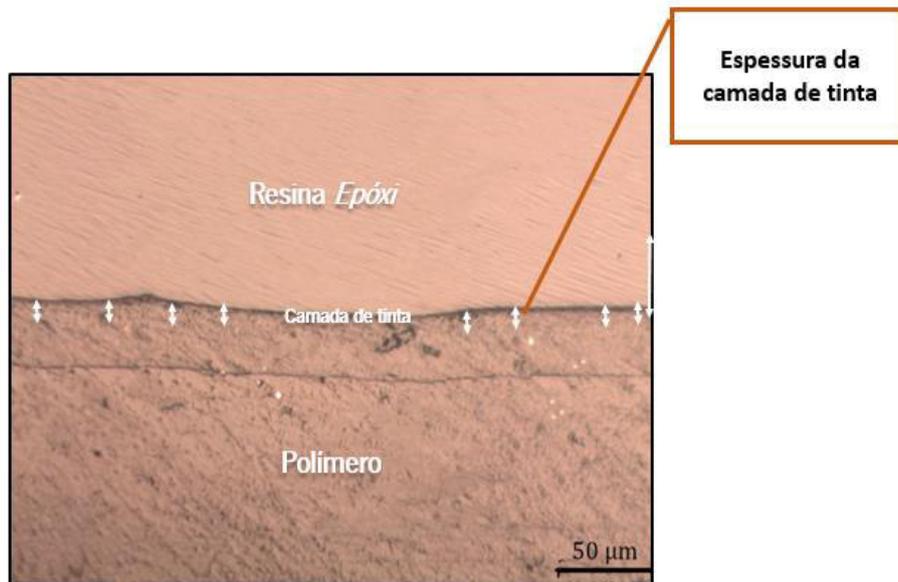


Figura 56- Imagem retirada da análise microscópica a uma lente *Volvo HUD*

Observando esta figura verifica-se que a superfície da amostra a analisar é irregular e a camada de tinta sobre ela deposita apresenta irregularidade, não se depositando de modo uniforme.

Na Figura 57 encontra-se a imagem apresentada anteriormente mas com as medições de espessura de tinta efetuadas.



Figura 57- Imagem microscópica com as medições de espessura de tinta na lente *Volvo HUD*

Capítulo 5

Apresentação e Discussão dos Resultados

5.1. Efeito das variáveis operatórias

Na Figura 58 encontra-se representada a variação da espessura de tinta obtida nos Botões 1,2 e 3 (identificados na imagem) para as várias condições de pintura definidas na Tabela 2 na página 60. Também se encontram representados os limites inferior e superior de especificação de espessura de tinta destes botões.

No Anexo 4 encontram-se os valores médios de espessura de tinta obtidos para os botões em estudo em cada condição de pintura.

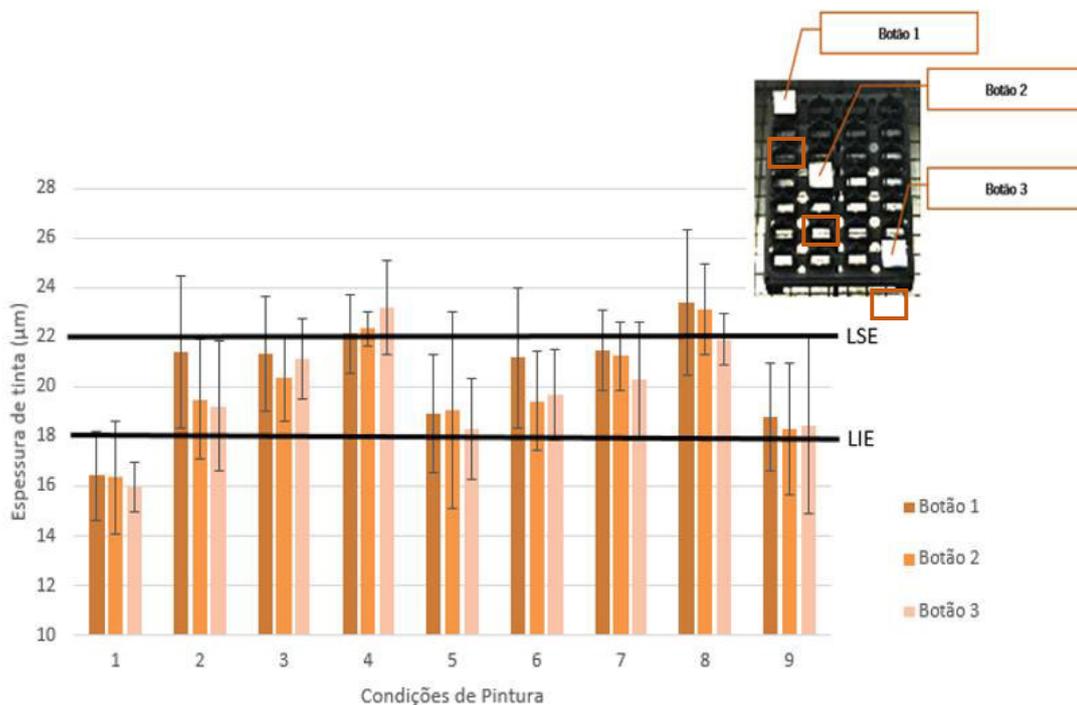


Figura 58- Espessura de tinta obtida nos botões para cada condição de pintura

Observando o gráfico pode-se constatar que o processo de pintura apresenta grande variação pois o desvio padrão obtido das medições efetuadas em cada botão é elevado.

A espessura de tinta obtida nos botões para algumas condições de pintura encontra-se fora dos limites de espessura de tinta especificados na *Ficha de Setup*. Quando se usa o *Flow Rate* a 70 ml/min, a *Atomização* a 3,8 bar e o *Fan* a 3,8 bar (condição 1) obtém-se uma espessura de tinta para cada um dos botões em estudo abaixo do limite inferior de especificação. Isto acontece porque a quantidade de tinta que é expelida pelo bico da pistola é a mínima especificada para a obtenção de peças com a espessura de tinta pretendida.

5.2. Efeito das variáveis operatórias

Na Figura 58 encontra-se representada a variação da espessura de tinta obtida nos Botões 1, 2 e 3 (identificados na imagem) para as várias condições de pintura definidas na Tabela 2 na página 60. Também se encontram representados os limites inferior e superior de especificação de espessura de tinta destes botões.

No Anexo 4 encontram-se os valores médios de espessura de tinta obtidos para os botões em estudo em cada condição de pintura.

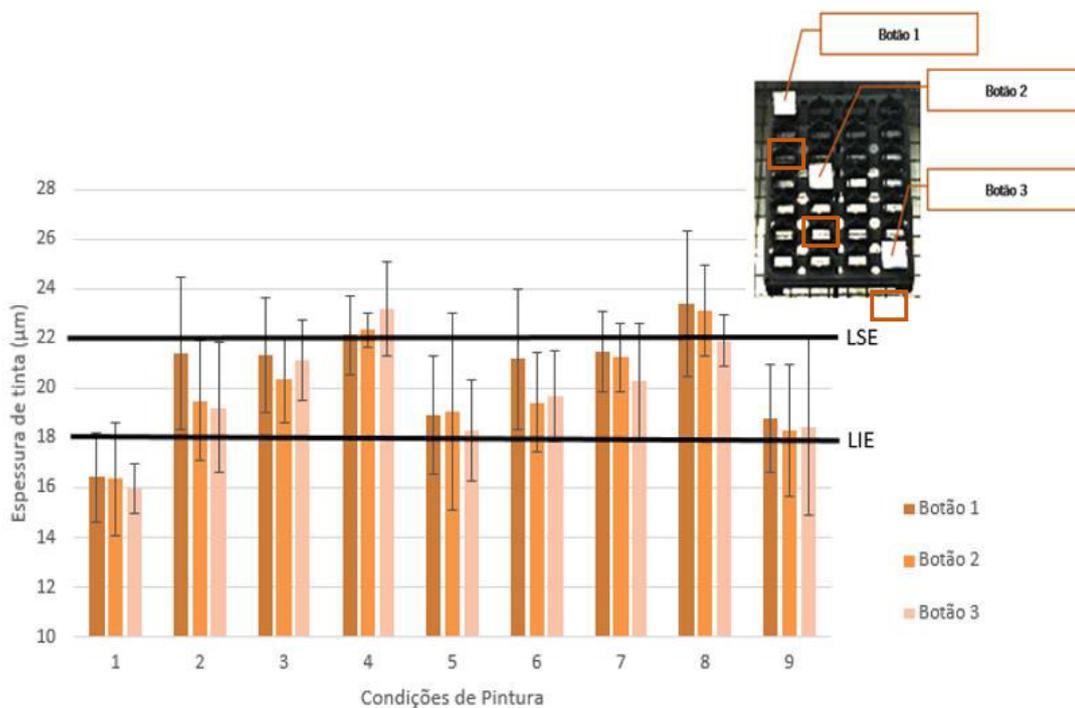


Figura 59- Espessura de tinta obtida nos botões para cada condição de pintura

Observando o gráfico pode-se constatar que o processo de pintura apresenta grande variação pois o desvio padrão obtido das medições efetuadas em cada botão é elevado.

A espessura de tinta obtida nos botões para algumas condições de pintura encontra-se fora dos limites de espessura de tinta especificados na *Ficha de Setup*. Quando se usa o *Flow Rate* a 70 ml/min, a *Atomização* a 3,8 bar e o *Fan* a 3,8 bar (condição 1) obtém-se uma espessura de tinta para cada um dos botões em estudo abaixo do limite inferior de especificação. Isto acontece porque a quantidade de tinta que é expelida pelo bico da pistola é a mínima especificada para a obtenção de peças com a espessura de tinta pretendida. Como a pressão fornecida pelo sistema para debitar o leque com a largura e forma para revestir uniformemente a superfície e a pressão de atomização utilizadas são mais elevadas do que especificado, faz com que a largura e a forma do leque de tinta e a sua desintegração em pequenas partículas numa

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

atmosfera gasosa ocorram de modo mais rápido e de um modo mais acentuado. No entanto, como se usa um valor de *Flow Rate* mínimo, a quantidade de tinta debitada pela pistola não consegue formar um leque com largura e forma pretendida para que a sua desintegração ocorra a pressões mais elevadas, criando peças com espessura de tinta menor do que especificado. Nas experiências realizadas com o *Flow Rate* a 70 ml/min, a *Atomização* a 3,4 bar e o *Fan* a 3,8 bar (condição 5) verifica-se que a espessura de tinta obtida se aproxima do limite inferior de especificação uma vez que a pressão utilizada para desintegrar o leque formado à saída da pistola não é suficiente para o desintegrar em pequenas partículas numa atmosfera gasosa de modo eficaz.

Quando se utiliza um *Flow Rate* a 90 ml/min, a *Atomização* a 3,8 bar e o *Fan* a 3,4 bar (condição 4) os valores de espessura de tinta obtidos nas peças plásticas são maiores do que os limites especificados na *Ficha de Setup*. O que também acontece quando se usa a *Atomização* a 3,4 bar e o *Fan* a 3,4 (condição 8). O excesso de espessura de tinta acontece porque a quantidade de tinta que é expelida pelo bico da pistola é elevada e a quantidade de pressão fornecida pelo sistema para formar um leque de tinta com a largura e forma adequada para revestir uniformemente a superfície não é suficiente. Assim, ocorre a formação de um leque de tinta com largura e forma inadequado e independentemente da pressão de atomização que se utiliza as peças obtidas apresentam espessura de tinta superior à especificada.

Na experiência em que se utilizou a condição 9 onde se usaram os valores especificados na *Ficha de Setup* verificou-se que os valores de espessura de tinta dos produtos obtidos se encontram dentro dos limites de especificação. No entanto, os valores de espessura de tinta obtidos estão próximos do limite inferior de especificado. Os valores de espessura de tinta apresentados nesta condição de pintura apresentam grande variação, o que se pode dever ao valor de *Flow Rate* utilizado uma vez que a quantidade de tinta expelida pelo bico da pistola é próxima do valor mínimo especificado na *Ficha de Setup*.

5.3. Espessura de tinta: medição com aparelho e microscopia ótica

Os resultados obtidos do estudo da variação de espessura de tinta nas peças plásticas e nos elementos de controlo através do medidor de espessura e de microscopia ótica serão apresentados seguidamente. Primeiro, serão apresentados os resultados obtidos para o botão *Eject VW MIB*, posteriormente os resultados para os botões *Porsche* e por fim os resultados obtidos para as lentes *Volvo HUD*.

5.2.1. Botão Eject VW MIB

Para estudar a variação de espessura de tinta no Botão *Eject VW MIB* começou-se por estudar a variação de espessura de tinta existente nos elementos de controlo ao longo do processo de pintura. Na Figura 59 encontra-se a variação da espessura de tinta média obtida nos elementos de controlo no início (*Setup*), no

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

meio e no final do processo de pintura. Neste gráfico também se encontram representados os limites de especificação de espessura de tinta definidos na *Ficha de Setup* do produto (Anexo 1).

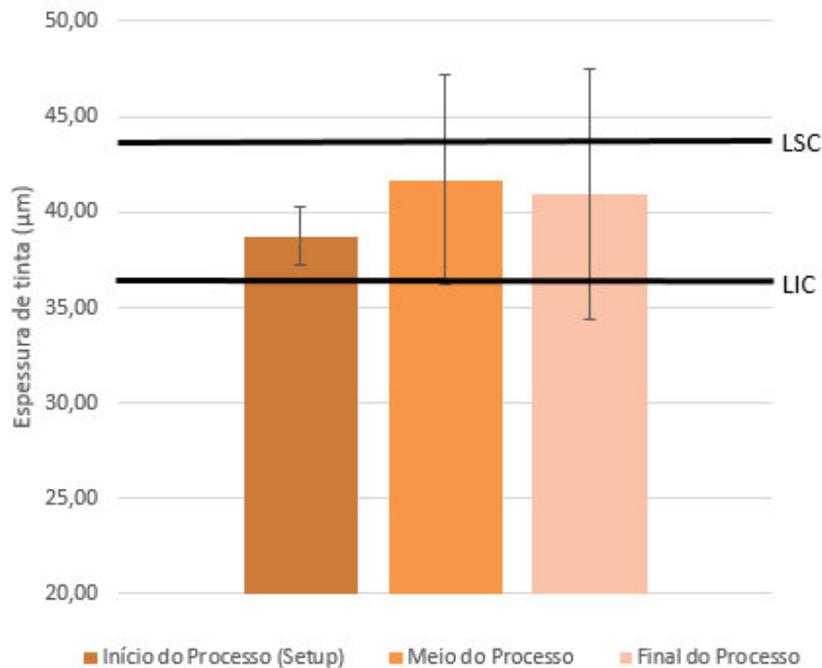


Figura 60- Espessura de tinta medida nos elementos de controlo ao longo do processo de pintura

Analisando o gráfico anterior facilmente se constata que a espessura de tinta nos elementos de controlo tende a aumentar ao longo do processo de pintura uma vez que no início do processo de pintura obtêm-se valores de espessura de tinta mais baixos do que os obtidos com o avanço do processo de pintura. A espessura de tinta obtida no meio e no final da produção de um lote de pintura é semelhante. As diferenças na espessura de tinta obtida ao longo da produção de um lote de pintura podem estar relacionadas com a tinta uma vez que esta, durante a produção de um lote de pintura, deixa de ser agitada e encontra-se a circular pelo circuito de pintura. Assim, a tinta pode ficar menos viscosa pelo que a pistola debitará um *Flow Rate* mais elevado para a mesma *Fan Pressure* e *Atomização*. A diferença da temperatura e da humidade no interior da cabine de pintura também pode ter influência na distribuição de espessura de tinta uma vez que esta se torna menos viscosa há medida que a temperatura aumente e vice-versa.

Também a acumulação de sujidade na cabine de pintura ao longo do processo, pode fazer com que a tinta não seja debitada uniformemente ao longo de toda a produção, criando peças com diferentes espessuras de tinta. Com o avançar da produção de um lote de pintura, pode tornar-se mais difícil a secagem dos solventes, fazendo com que o revestimento se torne mais espesso. Assim, a peça não é pintada com a espessura de tinta pretendida.

Seguidamente, estudou-se a variação de espessura de tinta existente nos jigs estudados (jig na posição extrema [1] e [3] e o jig na posição central [2] ao longo da produção de um lote de pintura.

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

Na Figura 60 encontra-se a variação de espessura de tinta existente no jig alocado na posição extrema [1] da rede durante a produção de um lote de pintura (ver Figura 38 na pagina 56).

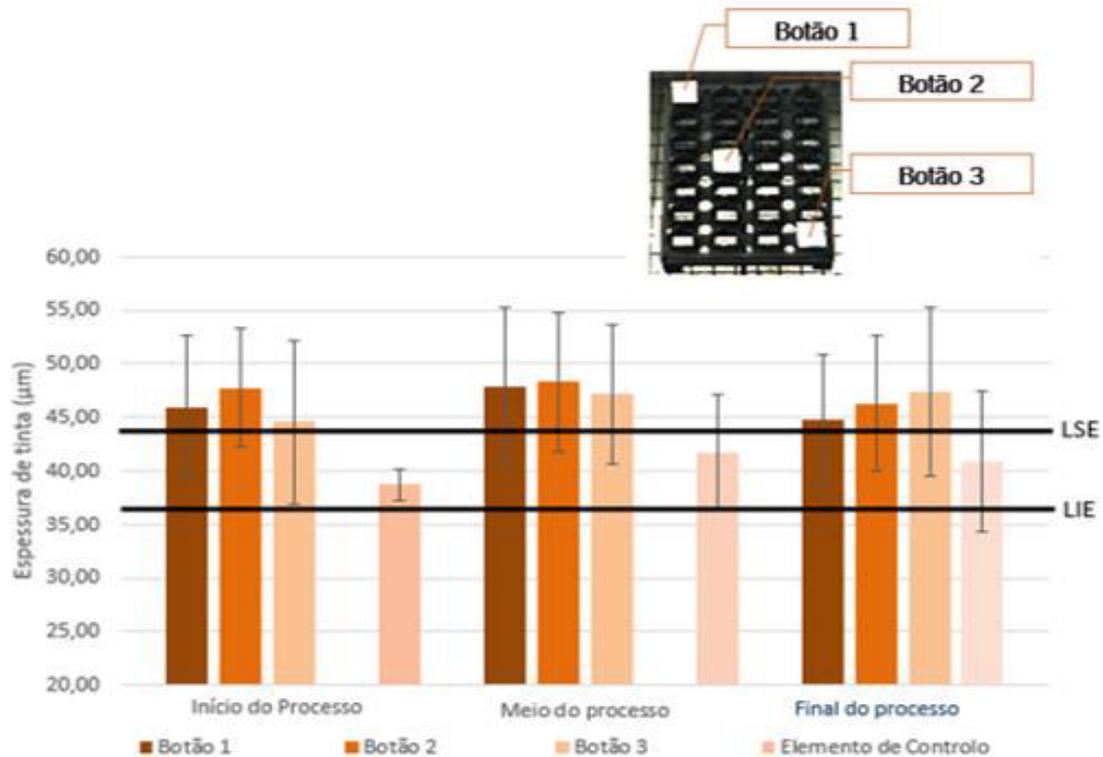


Figura 61-Variação de espessura de tinta no jig alocado na posição extrema [1] ao longo da produção de um lote de pintura

Analisando o gráfico, verifica-se que a espessura de tinta média obtida em cada botão se encontra acima do limite de especificação.

No início do processo o botão que apresenta maior espessura de tinta é o botão 2 que se encontra numa posição central sendo o botão 3 o que apresenta menor espessura de tinta. O mesmo se verifica no meio da produção de um lote de pintura. No final da produção de um lote de pintura verifica-se que o botão que apresenta menor espessura de tinta é o 1 que se encontra numa posição extrema e o que apresenta maior espessura de tinta é o que se encontra na posição extrema 3, contrariamente ao que seria esperado. O esperado seria que o botão que apresentasse espessura de tinta mais elevada fosse o botão 2 que se encontra numa posição central uma vez que nesta zona toda a tinta expelida pelo bico da pistola é direcionada para as peças a pintar.

Na Figura 61 é possível visualizar a variação de espessura de tinta existente no jig colocado na posição central [2] da rede ao longo da produção de um lote de pintura.

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

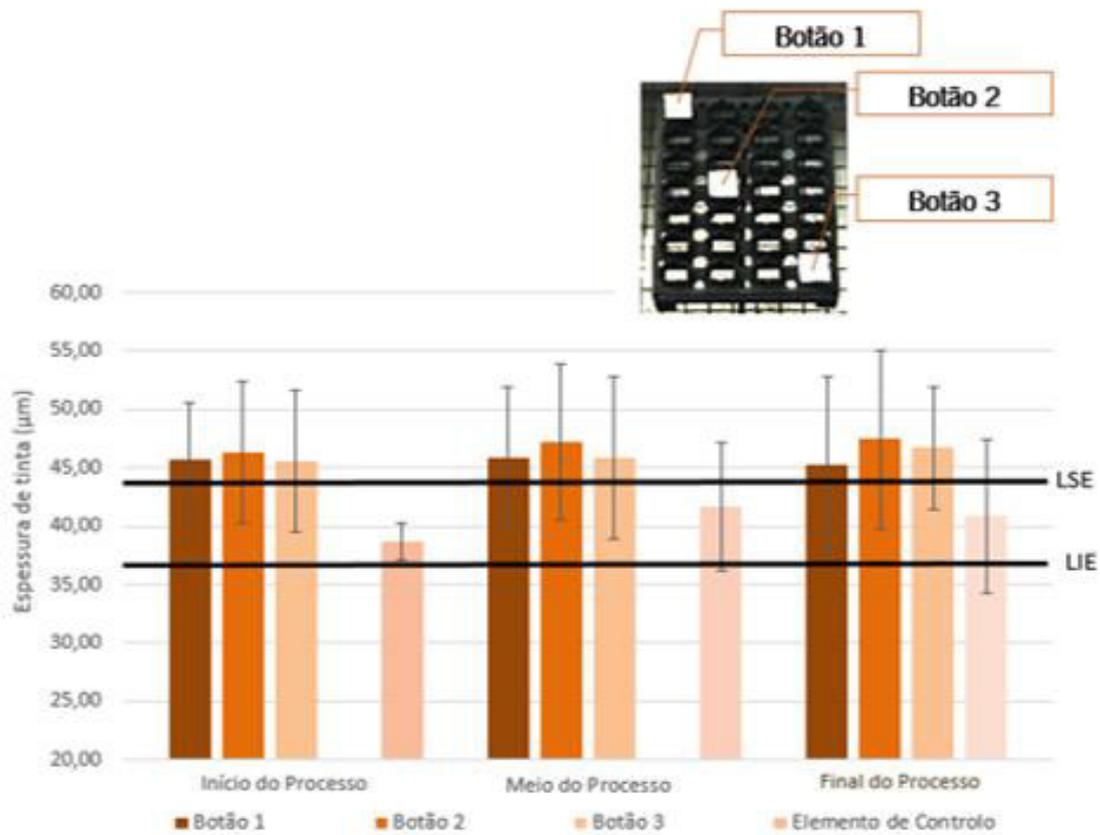


Figura 62- Variação de espessura de tinta no jig posicionado na zona central [2] da rede ao longo da produção de um lote de pintura

No *jig* posicionado na posição central da rede verifica-se que a espessura de tinta média obtida nos botões se encontra acima do limite superior de especificação. Neste caso, verifica-se que quer no início, meio ou no final do processo de pintura a espessura de tinta média obtida em cada um dos botões sofre variações pouco significativas. Isto é, os valores médios de espessura de tinta obtidos para cada botão são próximos. Verifica-se que em cada etapa do processo estudada, o botão que apresenta maior espessura de tinta é o botão 2 que se encontra posicionado na zona central do jig como seria esperado. Nos botões colocados nas posições extremas, confirma-se que aquele que apresenta menor espessura de tinta é o que se encontra alocado na posição extrema 1 (botão 1).

Na Figura 62 encontra-se representada a variação da espessura de tinta nos botões carregados no jig que se encontra alocado na posição extrema [3] durante a produção de um lote de pintura, assim como os limites de especificação de espessura de tinta.

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

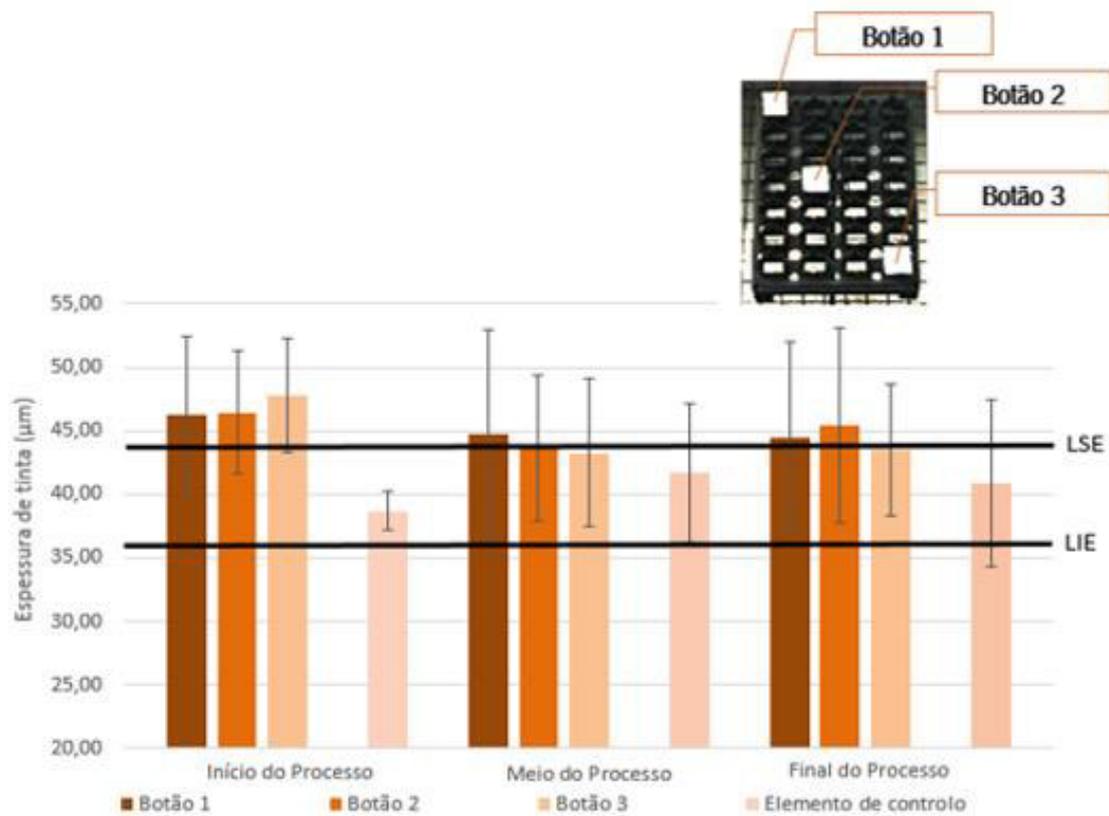


Figura 63- Variação de espessura de tinta no *jig* colocado na posição extrema [3] ao longo da produção de um lote de pintura

Analisando o gráfico, constata-se que a espessura de tinta obtida no início do processo é mais elevada do que a obtida no meio e no final do processo de pintura, encontrando-se acima do limite superior de especificação. No meio e no final do processo de pintura verifica-se que existem botões que apresentam espessura de tinta dentro dos limites especificados. É o caso dos botões 2 e 3 no meio do processo e do botão 3 no final do processo.

Por fim, analisou-se a variação de espessura de tinta existente numa rede de pintura ao longo da produção de um lote de pintura. Na Figura 63 encontra-se representada essa variação.

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

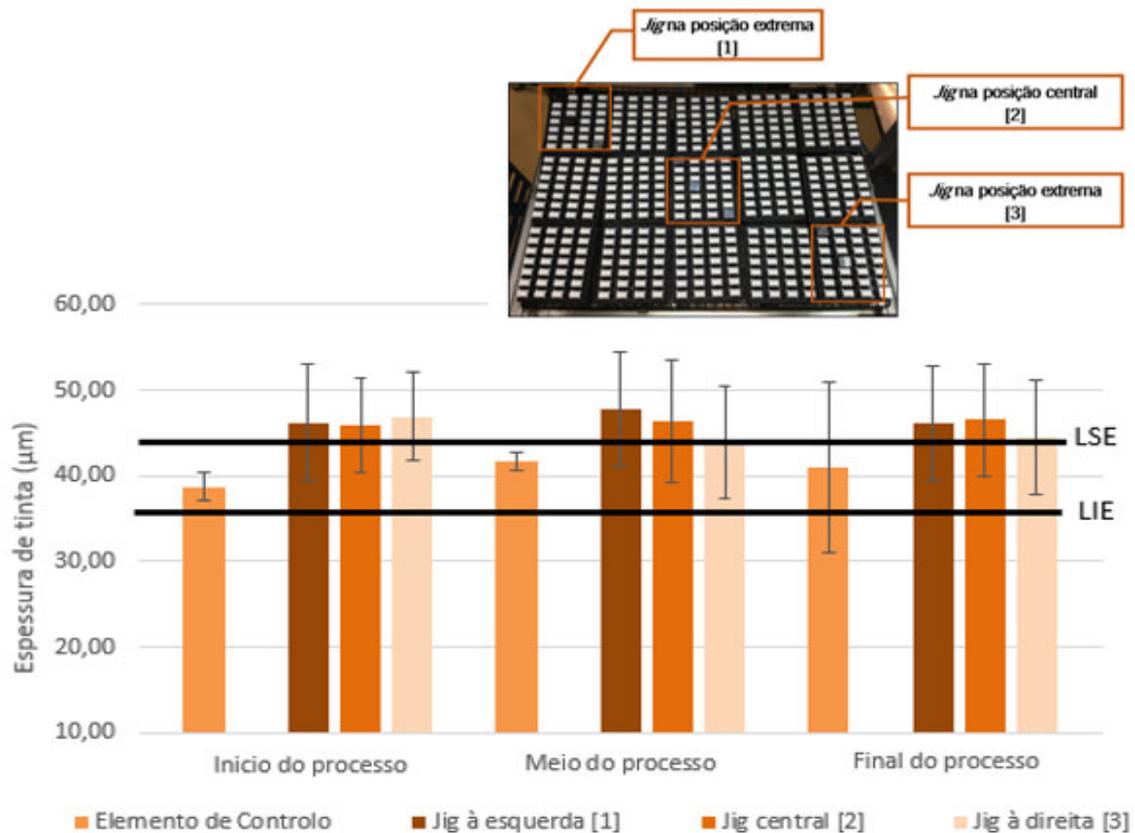


Figura 64- Espessura de tinta obtida nas peças plásticas e nos elementos de controlo na produção de um lote de pintura

Analisando o gráfico apresentado, verifica-se que a espessura de tinta apresenta maior variação nas peças plásticas do que nos elementos de controlo. Isto é, as medições de espessura de tinta efetuadas nas peças plásticas apresentam maior variação do que as efetuadas no elemento de controlo. A causa da variação de espessura de tinta nas peças plásticas pode dever-se ao facto de a espessura de tinta nas peças plásticas ser medida num elemento metálico e não diretamente na peça plástica e no facto de o medidor de espessura utilizado para efetuar as medições utilizar uma ponteira para medir a espessura de tinta nas peças. A medição efetuada na ponteira depende da força e inclinação utilizada pelo utilizador. Como a força e inclinação utilizada na ponteira para efetuar as medições de espessura pode não ser a mesma em todas as medições obter-se-ão medições de espessura de tinta diferentes.

Da análise do gráfico também se pode verificar que os valores de espessura de tinta obtidos nos elementos de controlo se encontram dentro de especificação enquanto os obtidos nas peças plásticas apenas se encontram dentro de especificação nos botões posicionados no jig à direita no meio e no final da produção de um lote de pintura. Como este jig se encontra numa posição extrema, só parte da tinta que é expelida pelo bico da pistola cobre a superfície a revestir, sendo a restante expelida pela cabine de pintura, atingindo o fluxo de água que circula na parte inferior da cabine. Assim, estes botões são revestidos com menor quantidade de tinta, apresentando menor espessura de tinta.

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

De modo a estudar a variação de espessura de tinta existente nas peças plásticas e nos elementos de controlo ao longo do processo de pintura representou-se na Figura 64 a variação da espessura média de tinta nos elementos de controlo e nas peças plásticas durante a produção de um lote de pintura.

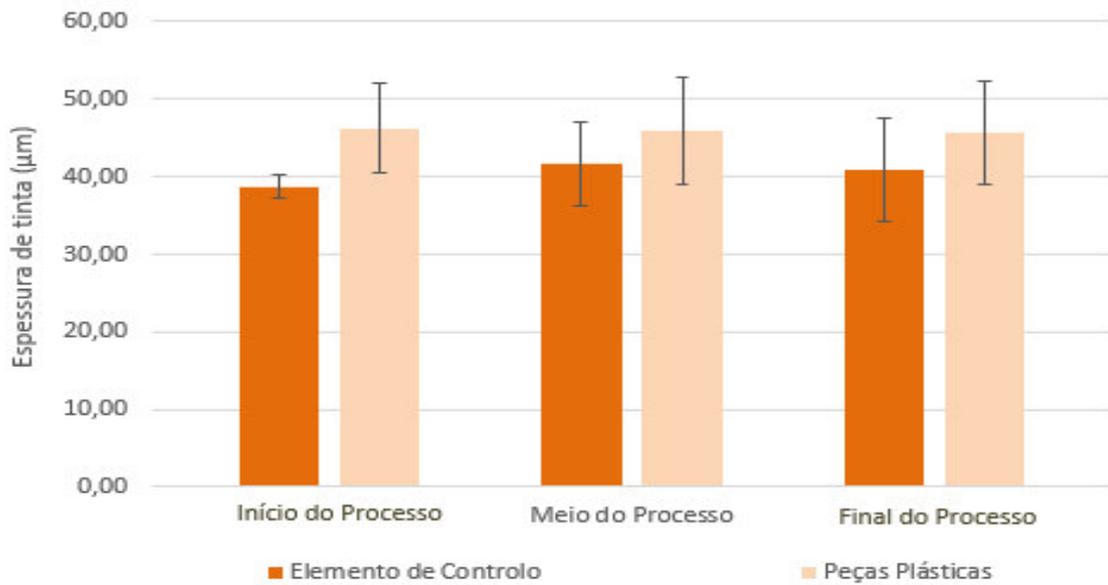


Figura 65-Variação da espessura média de tinta nos elementos de controlo e nas peças plásticas no processo de pintura

Da análise do gráfico pode-se verificar que a espessura de tinta obtida nos elementos de controlo é menor do que a espessura de tinta nas peças plásticas. A diferença de espessura de tinta pode ser resultado do processo de pintura do botão e do elemento de controlo uma vez que para realizar o processo de pintura do botão *Eject VW MIB* é necessário revesti-lo com duas camadas de tinta e para pintar o elemento de controlo apenas se aplica uma camada de tinta. Assim, para obter o valor de espessura de tinta no elemento de controlo é necessário duplicar o valor medido pelo medidor de espessura. Como num produto apenas é aplicada uma camada de tinta e noutro são aplicadas duas, os valores de espessura de tinta de ambos podem apresentar variação uma vez que a quantidade de tinta aplicada na segunda camada pode não ser igual à depositada na primeira camada.

Na Figura 65 encontra-se a variação de espessura de tinta obtida com o microscópio ótico ao botão *Eject VW MIB*. Também se encontra representado a variação de espessura de tinta no elemento de controlo assim como os limites de especificação de espessura de tinta.

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

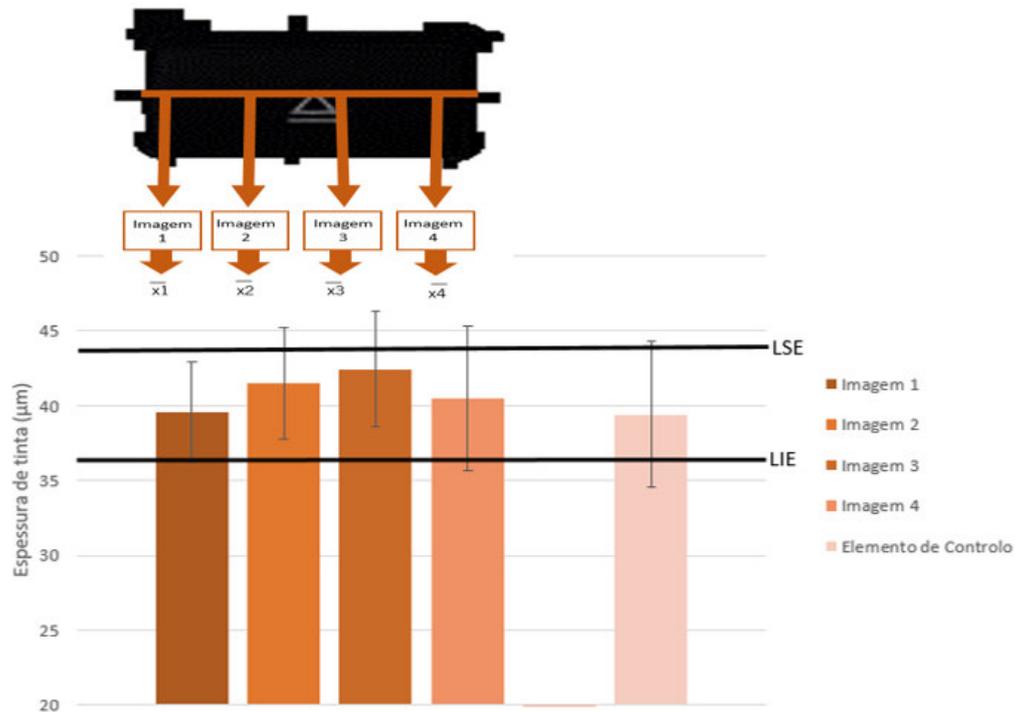


Figura 66- Variação da espessura de tinta no Botão Eject VW MIB e no elemento de controlo

Analisando a Figura anterior pode-se verificar que a espessura de tinta obtida nos botões se encontra dentro dos limites de especificação de espessura de tinta. Percebe-se também que a zona do botão que apresenta maior espessura de tinta é a zona mais central onde foram retiradas as imagens 2 e 3 uma vez que nesta zona do botão toda a tinta que é expelida pelo bico da pistola atinge a superfície a revestir. Por outro lado, a zona que apresenta menor espessura de tinta é a que se encontra mais próxima da extremidade dos botões (imagem 1) uma vez que nestas zonas parte da tinta que é expelida pela pistola não atinge a superfície a revestir pois é expelida para a cabine de pintura.

Depois de obter um valor médio para cada uma das imagens retiradas, representou-se a média de todas as medições de espessura de tinta realizadas para este produto e comparou-se a sua variação com a variação existente nos elementos de controlo e nas medições efetuadas com o medidor de espessura nas peças plásticas. Na Figura 66 encontra-se a variação de espessura de tinta existente na medição de espessura de tinta no botão e nos elementos de controlo. Também se encontram representados os limites de especificação de espessura de tinta.

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

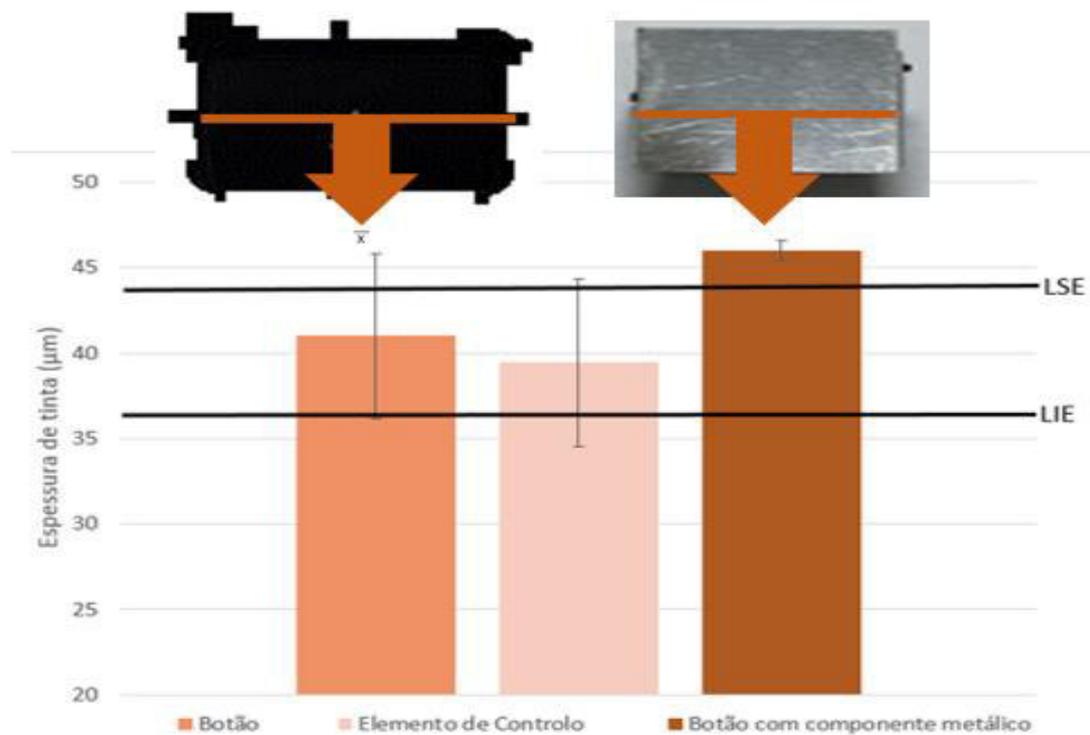


Figura 67- Variação da espessura de tinta no Botão Eject VW MIB e no elemento de controlo no processo de pintura

Assim, verificou-se que a variação de espessura de tinta nas peças plásticas é semelhante à variação de espessura de tinta nos elementos de controlo utilizados para controlar a espessura de tinta na produção de um lote de pintura. No entanto, o valor médio de espessura de tinta obtido nas peças plásticas é mais elevado do que no elemento de controlo, o que pode estar relacionado com o facto de o elemento de controlo só ser pintado com uma camada de tinta enquanto a peça plástica é pintada com duas camadas de tinta, tal como mencionado no capítulo anterior. Já a espessura de tinta nos botões revestidos com o componente metálico é mais elevada do que a espessura de tinta medida nos botões com o microscópio ótico e nos elementos de controlo medido com o medidor de espessura.

A variação existente entre as medições de espessura de tinta realizadas é maior quando se mede a espessura de tinta do botão com o microscópio ótico e quando se mede a espessura de tinta no elemento de controlo com o medidor de espessura. As medições de espessura de tinta realizadas com o medidor de espessura nos botões revestidos com componente metálico apresentam uma pequena variação, mostrando que os valores de espessura de tinta medidos em cada medição são próximos.

De modo a perceber se a viscosidade de tinta sofre variação ao longo do processo de pintura decidiu-se medir a viscosidade da tinta no início e no final do processo de pintura. Na Figura 67 encontra-se a variação da viscosidade da tinta ao longo do processo de pintura.

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

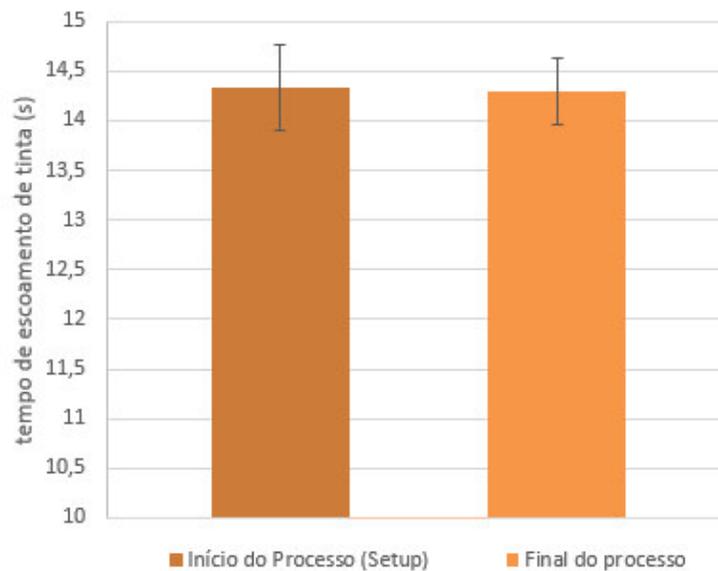


Figura 68- Variação do tempo de escoamento da tinta no processo de pintura do Botão *Eject VW MIB*

Analisando a figura anteriormente apresentada pode-se verificar que o tempo de escoamento da tinta medida no *Setup* de pintura é muito semelhante ao tempo de escoamento de tinta medida no final do processo, apresentando uma diminuição pouco significativa no final do processo. O que permite afirmar que a viscosidade de tinta se mantém praticamente constante ao longo do processo de pintura.

5.2.2. Botões *Porsche*

Na Figura 68 encontra-se a variação da espessura de tinta média obtida nos elementos de controlo no início (*Setup*), no meio e no final do processo de pintura. Neste gráfico também estão representados os limites de especificação de espessura de tinta definidos na *Ficha de Setup* do produto (Anexo 2).

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

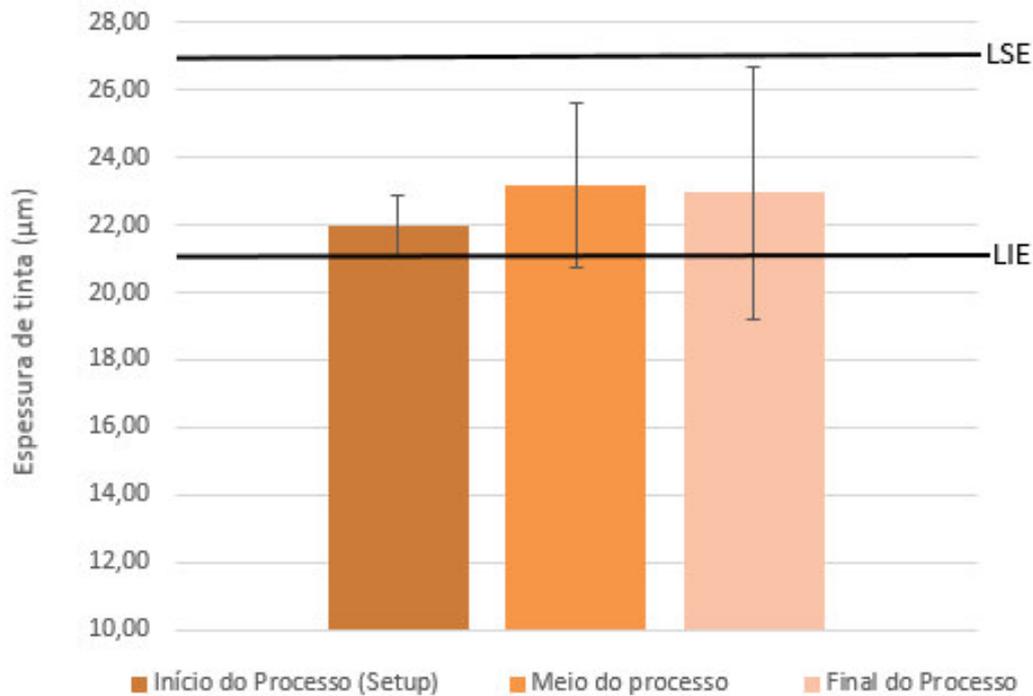


Figura 69- Variação da espessura de tinta nos elementos de controlo ao longo do processo de pintura

Verifica-se que a espessura de tinta medida nos elementos de controlo ao longo da produção de um lote de pintura se encontra dentro dos limites de espessura de tinta especificados. Verifica-se ainda que o elemento de controlo no Setup apresenta menor espessura de tinta do que no meio e no final do processo de pintura. No meio da produção de um lote de pintura o elemento de controlo apresenta maior espessura de tinta. A diferença na espessura de tinta obtida ao longo da produção de um lote de pintura pode estar relacionada com a tinta uma vez que esta, durante a produção de um lote de pintura, deixa de ser agitada e encontra-se a circular pelo circuito de pintura. Assim, a tinta pode ficar menos viscosa pelo que a pistola debitará um *Flow Rate* mais elevado para a mesma *Fan Pressure* e *Atomização*. A diferença da temperatura e da humidade no interior da cabine de pintura também pode ter influência na distribuição de espessura de tinta uma vez que esta se torna menos viscosa há medida que a temperatura aumente e vice-versa.

Após verificar a variação de espessura de tinta nos elementos de controlo, estudou-se a variação de espessura de tinta em cada *jig* estudado. Para isso, estudou-se a variação existente nos botões alocados no *jig* que se encontra na posição extrema [1] e [3] e na posição central [2].

Na Figura 69 encontra-se a variação de espessura de tinta nos botões alocados no *jig* que se encontra na posição extrema [1] (ver Figura 40 na página 57).

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

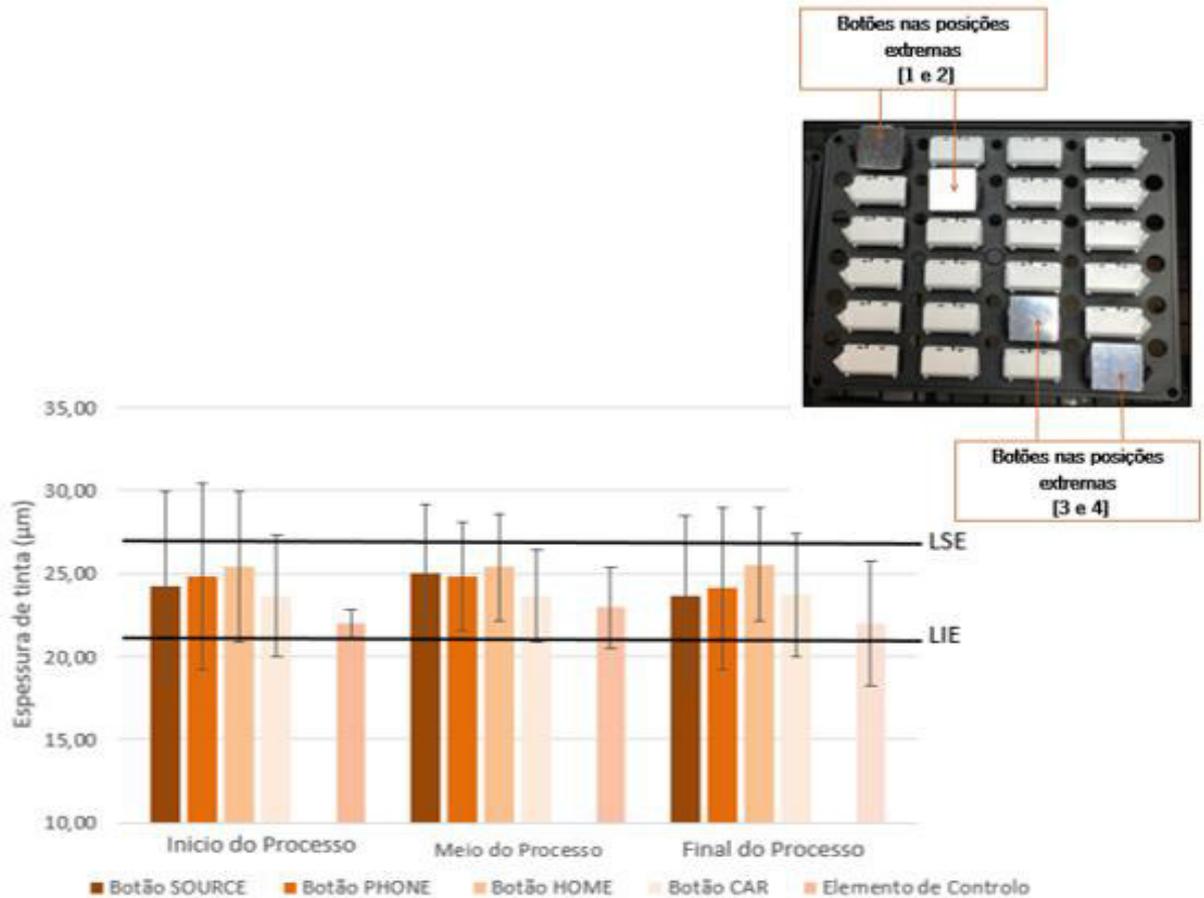


Figura 70- Variação da espessura de tinta nos botões que se encontram alocados na posição extrema [1] ao longo do processo de pintura.

Observando o gráfico anteriormente apresentado facilmente se percebe que a espessura de tinta média obtida nos quatro botões ao longo da produção de um lote de pintura se encontra dentro do limite de especificação de espessura de tinta. Verifica-se também que o botão que apresenta maior espessura de tinta é o que se encontra na posição extrema 3 enquanto o que apresenta menor espessura de tinta é o que se encontra na posição extrema 4. Como os botões se encontram próximos esta variação de espessura de tinta não era esperada. No início do processo, os valores médios de espessura de tinta obtidos para cada um dos botões 1, 2 e 3 apresentam pouca variação entre si. O mesmo se verifica no meio do processo de pintura. No final do processo de pintura apenas os botões 1, 2 e 4 apresentam um valor médio de espessura de tinta próximo.

Na Figura 70 encontra-se a variação de espessura de tinta existente nos botões carregados no jig que se encontra na posição central [2].

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

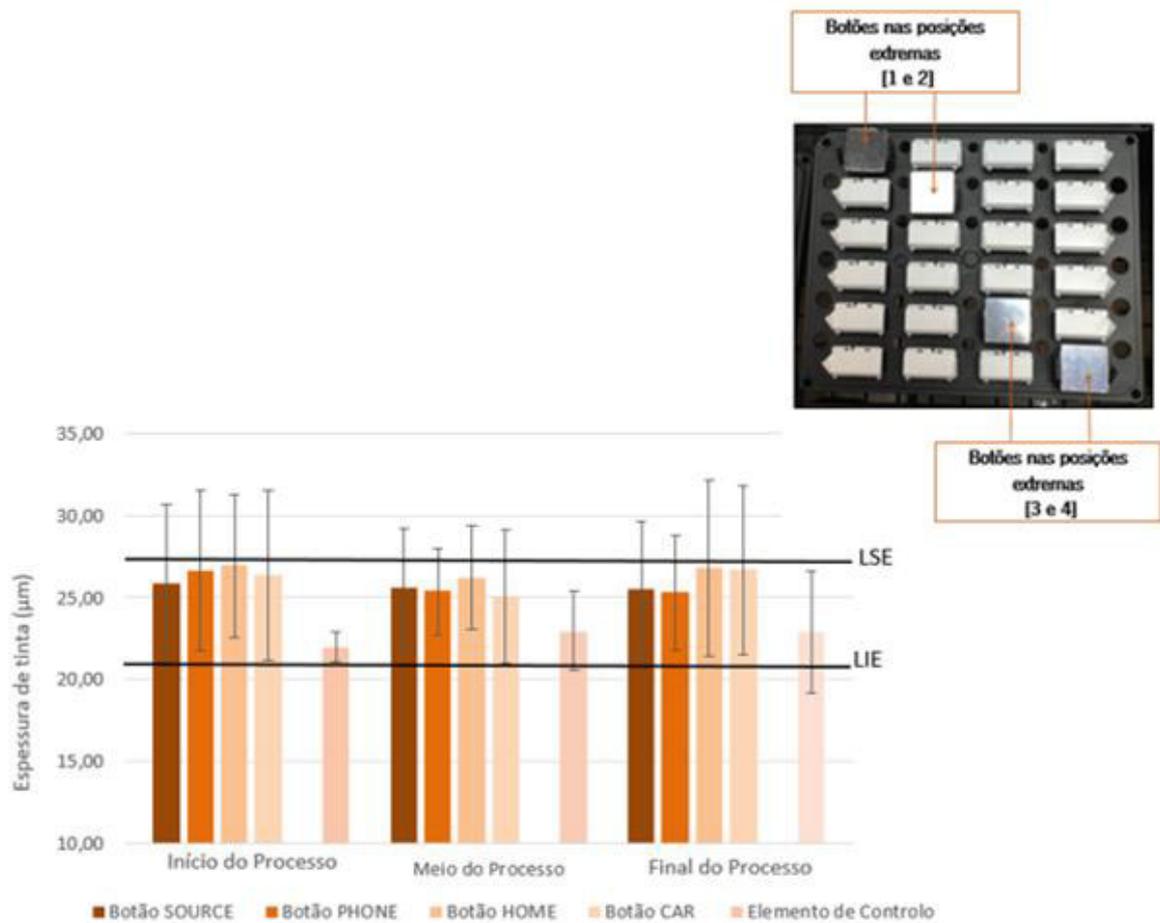


Figura 71- Variação da espessura de tinta nos botões que se encontram alocados na posição central [2] ao longo do processo de pintura.

Da análise do gráfico apresentado pode-se retirar que a espessura de tinta média obtida em cada botão se encontra dentro do limite de especificação de espessura de tinta. No entanto, os valores de espessura de tinta no botão 3 no início do processo e nos botões 3 e 4 no final do processo aproximam-se do limite superior de especificação de espessura de tinta. A variação existente na espessura de tinta dos botões ao longo do processo não é muito significativa. Isto é, a espessura de tinta nos botões não apresenta uma variação superior a 2 μm .

A variação de espessura de tinta existente nos botões carregados no jig que se encontra na posição extrema [3] encontra-se ilustrada na Figura 71. Este gráfico também contém ilustrado os limites de especificação de espessura de tinta.

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

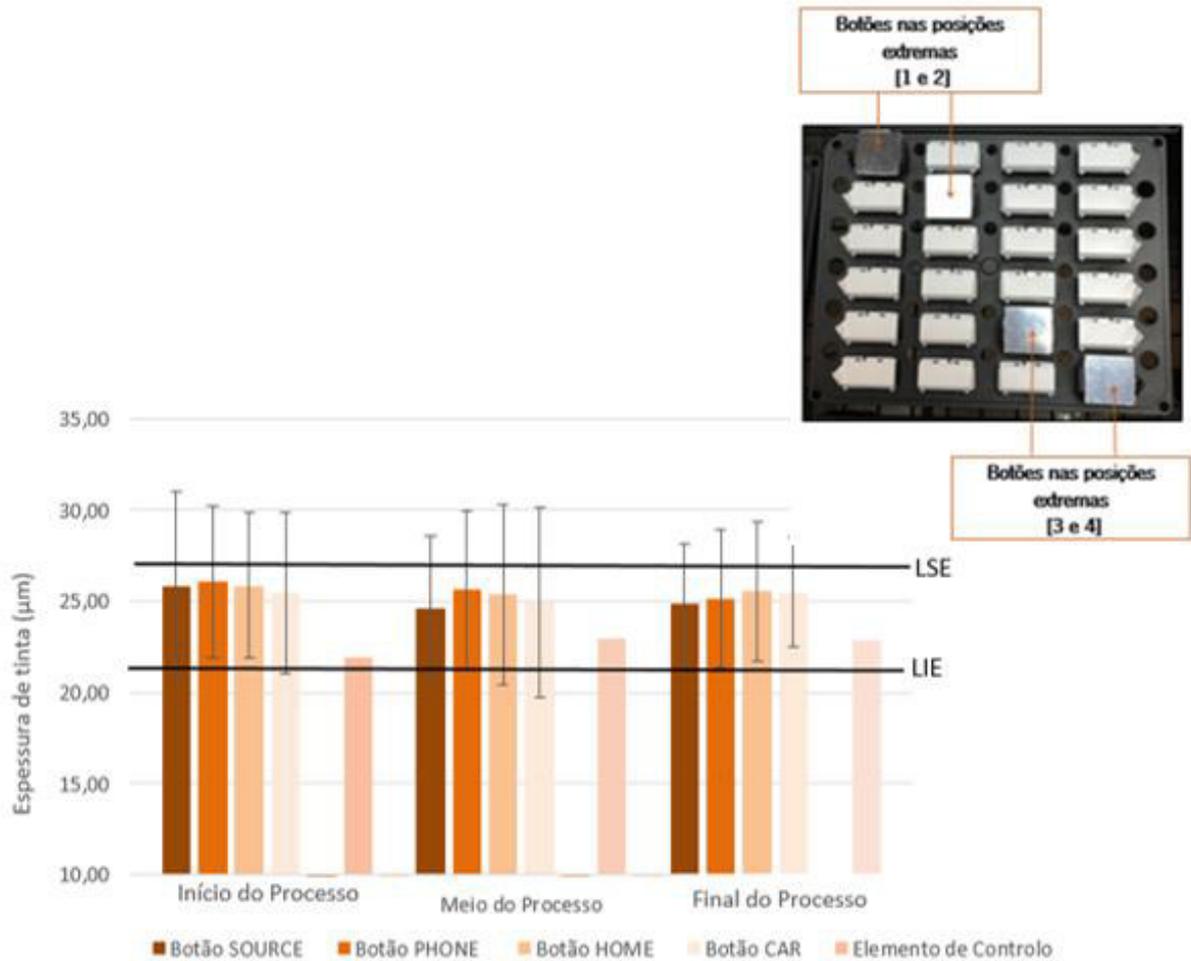


Figura 72- Variação da espessura de tinta nos botões que se encontram alocados na posição extrema [3] ao longo do processo de pintura.

Da análise do gráfico pode-se verificar que a espessura de tinta média em cada um dos botões ao longo do processo se encontra dentro dos limites de especificação de espessura de tinta. Verifica-se que a variação de espessura de tinta nos botões em estudo no início do processo de pintura é reduzida uma vez que a espessura de tinta média obtida nos botões 1, 2 e 3 é muito próxima. O botão 4 é o que apresenta menor espessura de tinta. No meio do processo, verifica-se que os botões 2 e 3 apresentam espessura de tinta próxima enquanto os botões 1 e 4 apresentam menor espessura de tinta. No final do processo, o botão que apresenta maior espessura de tinta é o botão 3 enquanto o que apresenta menor espessura de tinta é o botão 1. Os botões 1 e 2 apresentam espessura de tinta muito próxima.

Depois de estudar a variação de espessura de tinta em cada jig estudado, verificou-se de que modo varia a espessura de tinta nas peças plásticas ao longo de uma rede. Na Figura 72 encontra-se espelhada a respetiva variação e os limites de especificação de espessura de tinta.

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

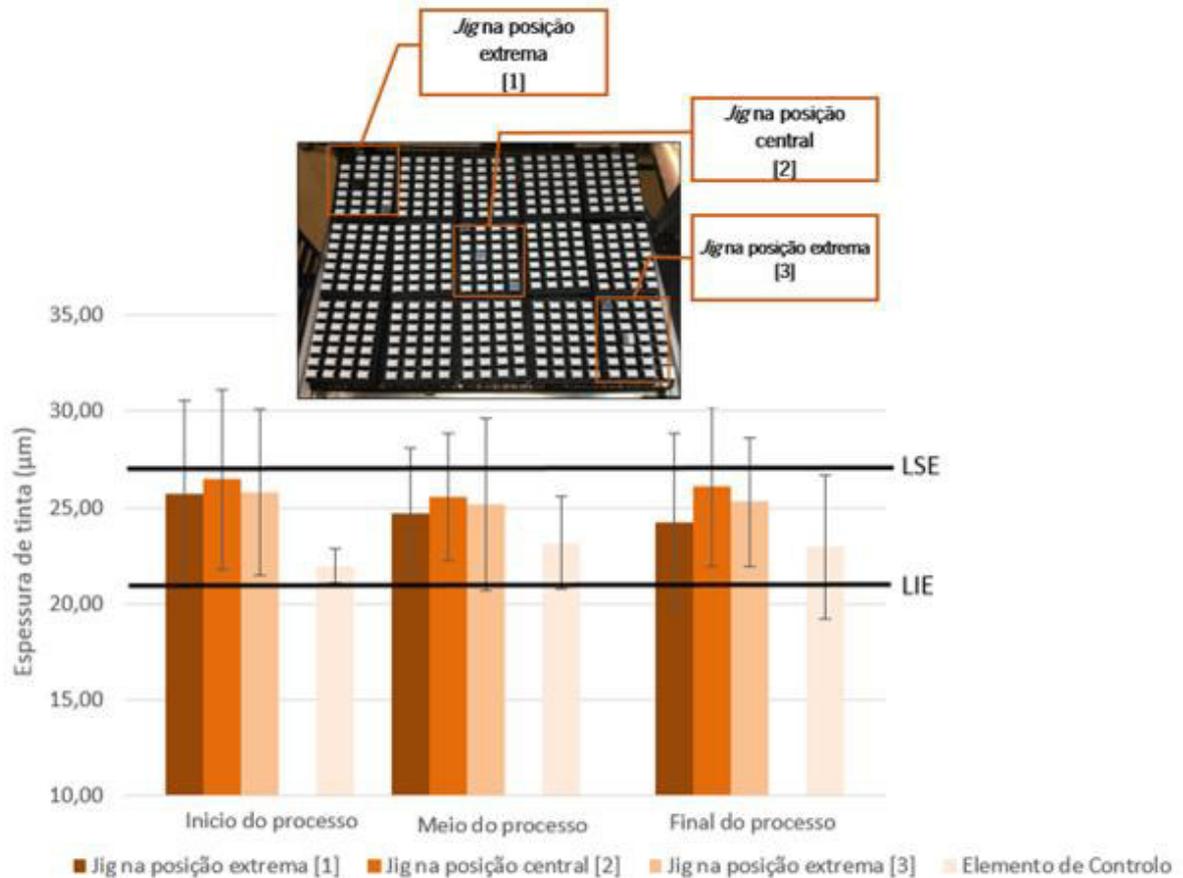


Figura 73- Variação da espessura de tinta numa rede ao longo do processo de pintura

Analisando o gráfico pode-se facilmente perceber que os valores médios de espessura de tinta obtidos para cada jig estudado se encontram dentro dos limites de especificação. Verifica-se também que a espessura de tinta nos elementos de controlo apresenta menor variação de espessura de tinta do que as peças plásticas. Verifica-se também que os botões que apresentam espessura de tinta mais elevada se encontram alocados no jig central (posição central [2]) uma vez que nesta zona todo o fluido atomizado debitado pelo bico da pistola atinge a superfície a revestir. As peças apresentam maior espessura de tinta quando são pintadas no início do processo, onde os parâmetros estão ajustados de acordo com o que consta na Ficha de Setup. Com o avançar da produção de um lote de pintura obtêm-se peças com menor espessura de tinta uma vez que os parâmetros do processo podem sofrer alterações com o avançar deste, alterando as características da tinta. Também a tinta utilizada a meio e no final da produção de um lote de pintura poderá ser diferente da utilizada no Setup de pintura, o que alterará a distribuição da espessura de tinta. Isto acontece porque os lotes de pintura produzidos deste produto são elevados e sua produção pode demorar até 8 horas, levando a que se use mais do que uma lata de tinta.

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

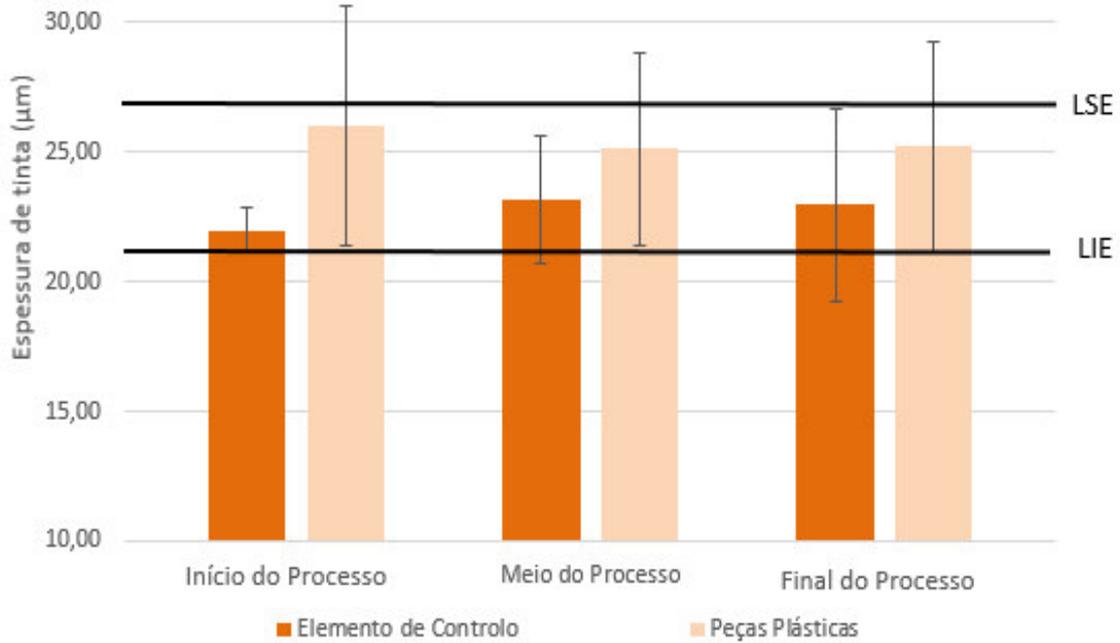


Figura 74- Variação da espessura de tinta nas peças plásticas e nos elementos de controlo ao longo do processo de pintura

Através da análise deste gráfico verifica-se que a espessura de tinta obtida nos elementos de controlo ao longo do processo de pintura é inferior à espessura de tinta obtida nas peças plásticas o que pode dever-se ao facto das peças plásticas serem revestidas com um elemento metálico para a medição de espessura de tinta. Como as peças são revestidas com o elemento metálico nem sempre é possível utilizar o calibre para efetuar as medições, deixando de efetuar as medições sempre na mesma posição. Assim, a força e a inclinação utilizadas na ponteira do aparelho de medição de espessura de tinta não são as mesmas em todas as medições, o que poderá condicionar as medições. Verifica-se também que a variação de espessura de tinta nos elementos de controlo é menor do que nos elementos de controlo uma vez que na medição de espessura dos elementos de controlo utiliza-se o calibre que garante que a medição é sempre efetuada no mesmo local da chapa metálica enquanto nas peças plásticas o calibre pode não ficar posicionado sempre no mesmo lugar devido à forma dos botões. Além disso, como o elemento metálico tem menor dimensão do que a superfície da peça a revestir este pode não ser colocado sempre no mesmo local da superfície.

Na Figura 74 encontra-se a variação de espessura de tinta obtida com o microscópio ótico no botão *SOURCE* e a variação de espessura de tinta obtida com o medidor de espessura no elemento de controlo no processo de pintura. Também se encontram representados os limites de especificação de espessura de tinta.

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

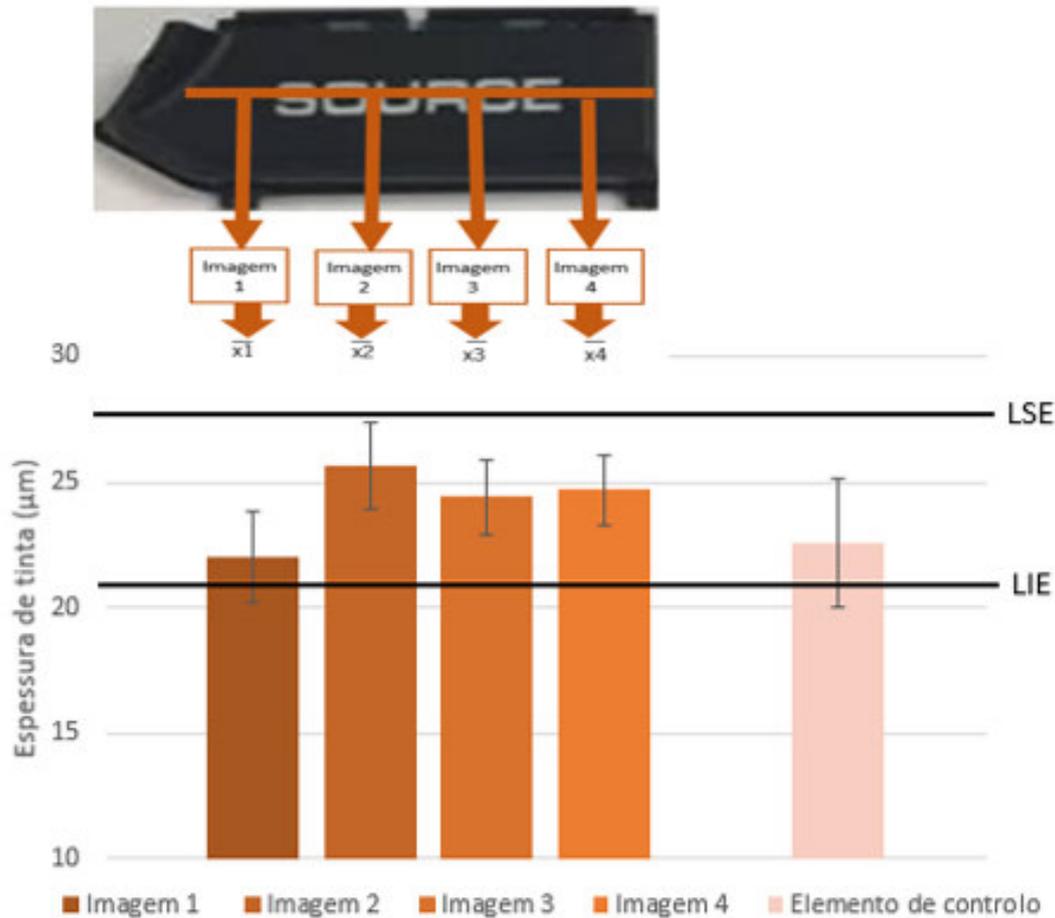


Figura 75- Variação da espessura de tinta no Botão SOURCE e nos elementos de controlo no processo de pintura

Analisando a figura anteriormente apresentada verifica-se que a espessura de tinta média obtida no botão *Source* se encontra dentro dos limites de especificação de espessura de tinta. Verifica-se também que a zona central (Imagem 2) é a que possui maior espessura de tinta enquanto a zona extrema (imagem 1) é a que apresenta menor espessura de tinta, como seria expectável uma vez que é na zona central onde se acumula maior quantidade de tinta. Em relação à variação de espessura de tinta nas peças plásticas e nos elementos de controlo pode-se salientar que é mais elevada a variação de espessura de tinta nos elementos de controlo do que no botão uma vez que a espessura de tinta no elemento de controlo é medida pelo medidor de espessura e o seu valor é influenciado pela força aplicada à ponteira do medidor.

Na Figura 75 encontra-se a variação de espessura de tinta obtida com o microscópio ótico no botão *PHONE* e com o medidor de espessura nos elementos de controlo no processo de pintura.

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

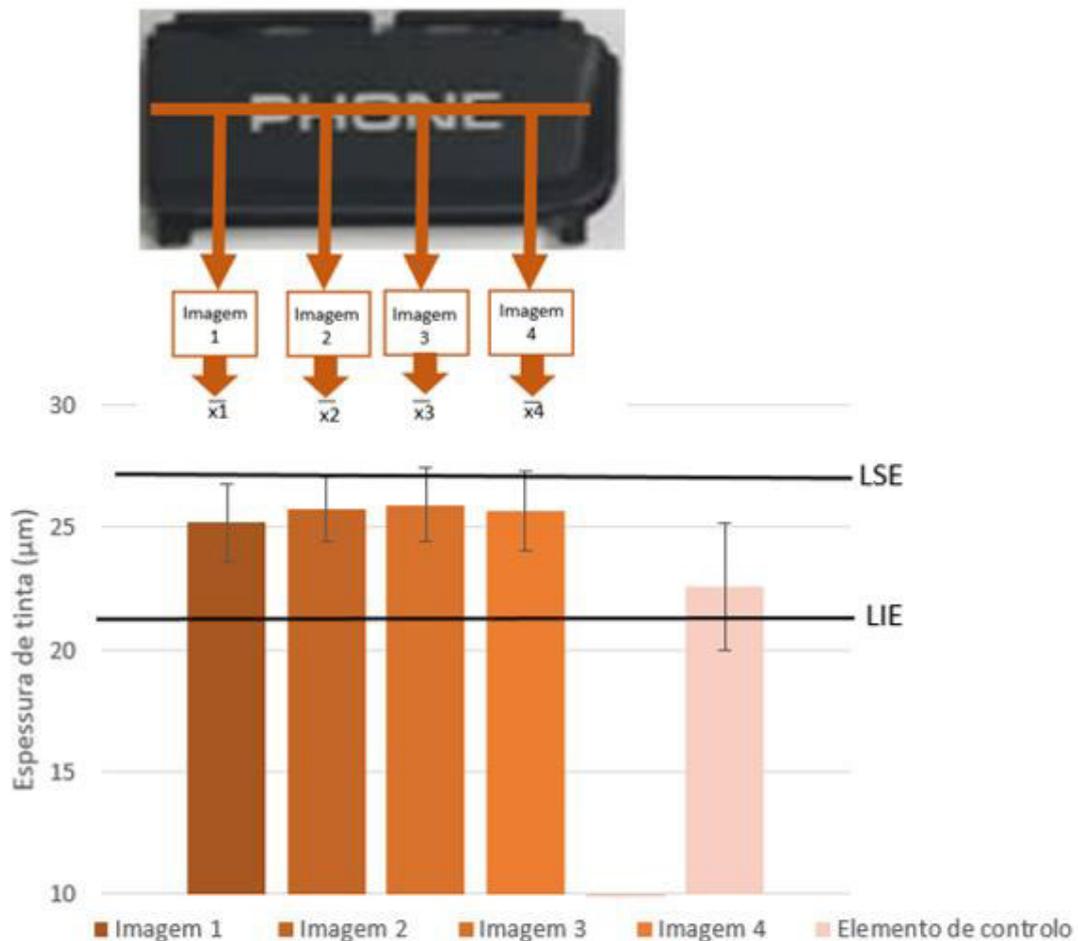


Figura 76- Variação da espessura de tinta no Botão *PHONE* e nos elementos de controlo no processo de pintura

Após a análise da Figura anterior pode-se apurar que a espessura de tinta média no botão *phone* se encontra dentro dos limites de espessura de tinta especificados. Verifica-se que a zona do botão que apresenta menor espessura de tinta é a zona extrema, a imagem 1, e a que apresenta maior espessura de tinta é a zona central (imagem 2 e 3). Verifica-se que a espessura de tinta obtida no elemento de controlo é mais reduzida do que a espessura de tinta nas várias zonas do botão. No entanto, a variação de espessura de tinta nos elementos de controlo é mais elevada do que a variação de espessura de tinta no botão. Isto pode ser causado pela medição de espessura de um ser com o microscópio e de outro sem com o medidor de espessura uma vez que a espessura de tinta no elemento de controlo é medida pelo medidor de espessura e o seu valor é influenciado pela força aplicada na ponteira do medidor de espessura.

Na Figura 76 encontra-se a variação de espessura de tinta obtida com o microscópio ótico no botão *HOME* assim como a variação de espessura de tinta existente nos elementos de controlo no processo de pintura.

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

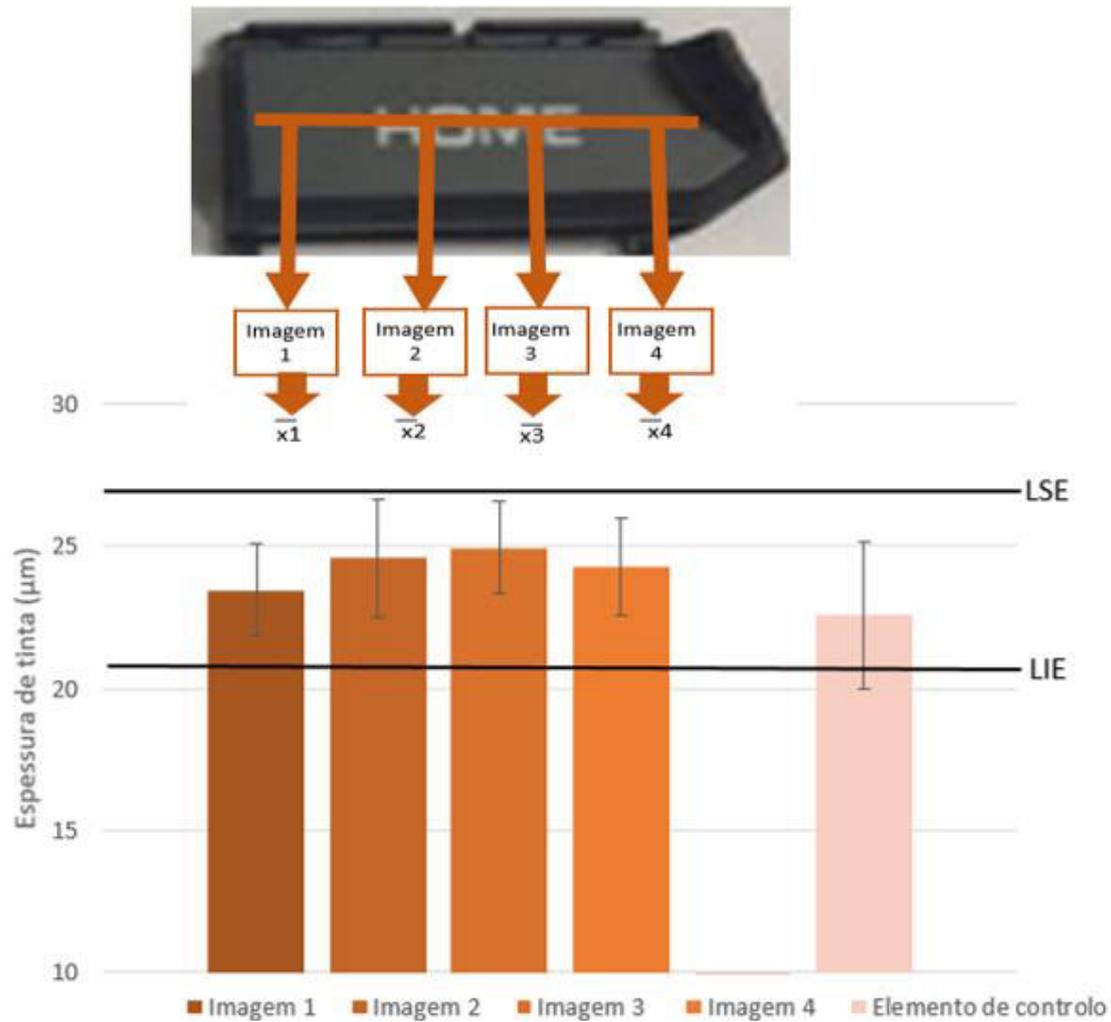


Figura 77- Variação da espessura de tinta no Botão *HOME* e nos elementos de controlo no processo de pintura

Da análise do gráfico anteriormente apresentado pode-se verificar que os valores de espessura de tinta obtidos em cada uma das imagens retiradas se encontram dentro dos limites de especificação de espessura de tinta. Verifica-se que a zona do botão que possui menor espessura de tinta é a zona próxima da extremidade do botão e a que contém maior espessura de tinta são as zonas centrais (imagem 2 e 3). Verifica-se que a espessura de tinta obtida no elemento de controlo é mais reduzida do que a espessura de tinta nas várias zonas do botão. No entanto, a variação de espessura de tinta nos elementos de controlo é mais elevada do que a variação de espessura de tinta no botão. Isto pode ser causado pela medição de espessura de um ser com o microscópio ótico e de outro ser com o medidor de espessura uma vez que a espessura de tinta no elemento de controlo é medida pelo medidor de espessura e o seu valor é influenciado pela força aplicada na ponteira do medidor de espessura.

Na Figura 77 encontra-se a variação de espessura de tinta obtida com o microscópio ótico no botão *CAR*. Encontra-se também a variação de espessura de tinta existente nos elementos de controlo no processo de pintura, assim como os limites de especificação de espessura de tinta.

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

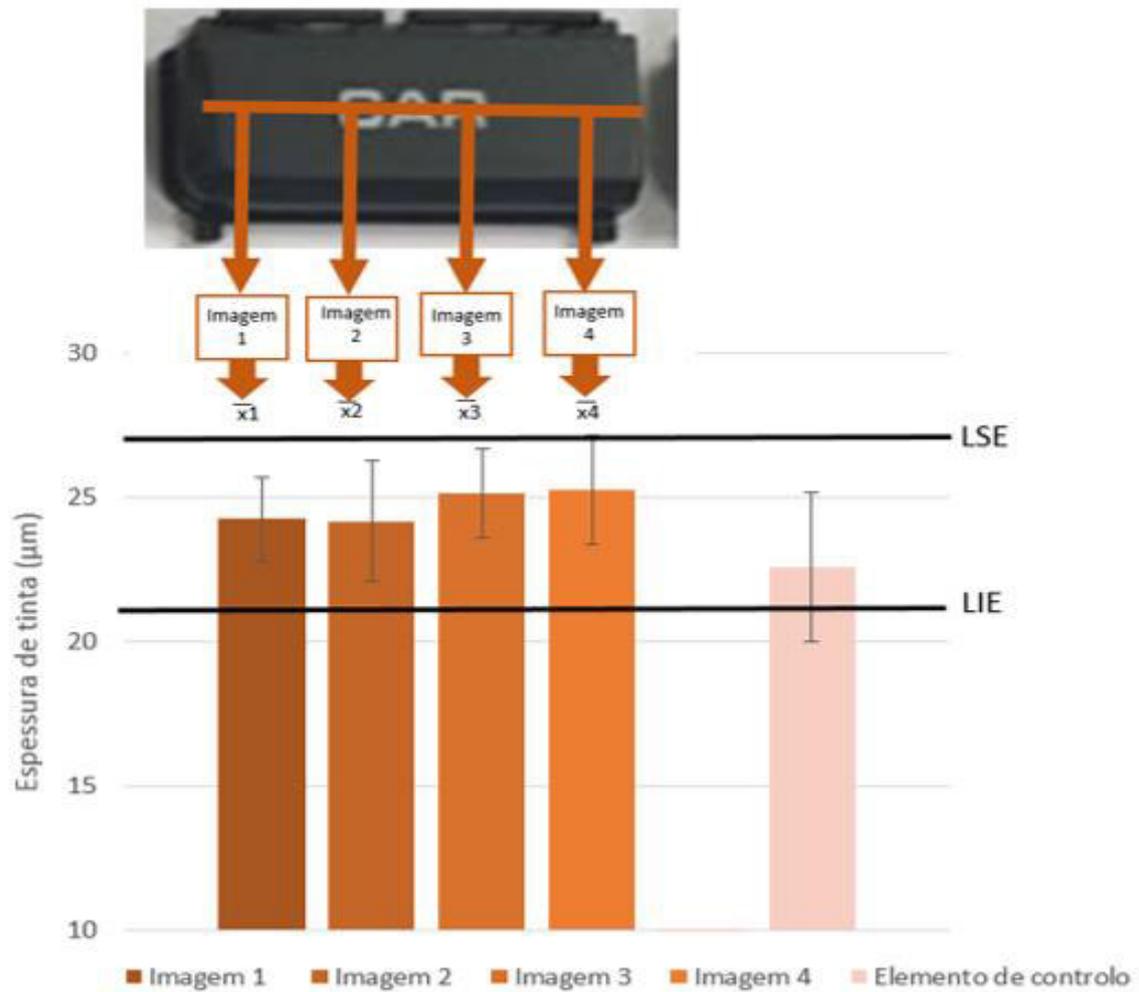


Figura 78- Variação da espessura de tinta no Botão CAR e nos elementos de controlo no processo de pintura

Da análise da figura anterior observa-se que a espessura de tinta obtida em cada uma das imagens retiradas ao botão CAR se encontra dentro dos limites de especificação de espessura de tinta. Verifica-se que as zonas do botão que apresentam maior camada de tinta são a zona central (imagem 3) e uma zona extrema (imagem 4), contrariando o que seria esperado. Era esperado que na imagem 4 e na imagem 1 se obtivessem menores valores de espessura de tinta. O elemento de controlo possui menor espessura de tinta do que as peças plásticas, no entanto nas suas medições apresentam maior variação de espessura de tinta uma vez que para realizar esta medição se utiliza um medidor de espessura, onde o valor de espessura de tinta medido depende da força aplicada e da inclinação usada pelo utilizador.

Na Figura 78 encontra-se a variação de espessura de tinta média obtida em cada botão Porsche analisado e nos elementos de controlo. Também se encontram representados os limites de especificação da tinta.

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

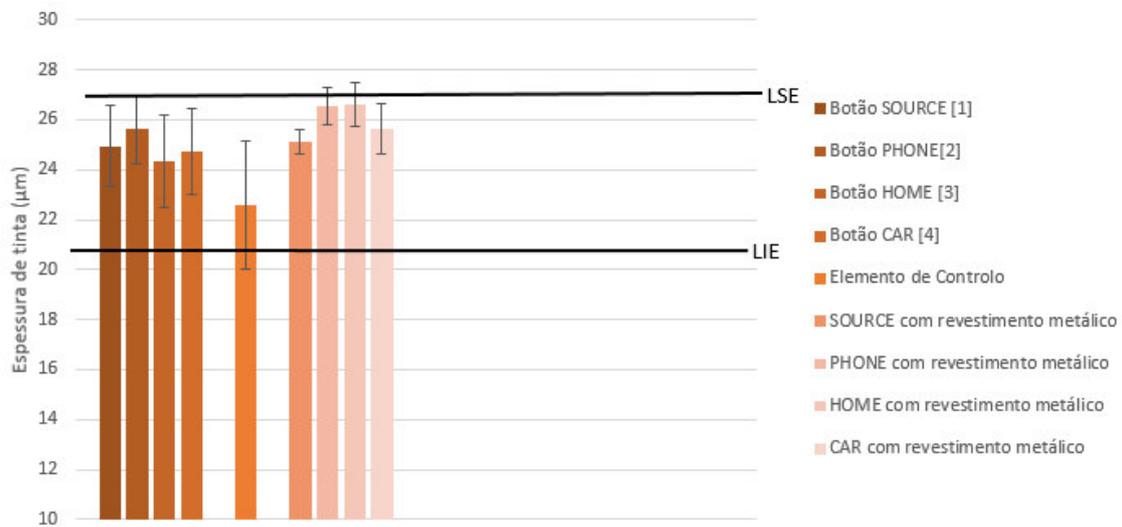


Figura 79-Variação da espessura de tinta obtida em cada um dos botões Porsche e nos elementos de controlo

Analisando a figura anterior pode-se concluir que a espessura de tinta média obtida em cada botão Porsche quer se efetuem as medições com o microscópio ótico ou com o medidor de espessura encontra-se dentro dos limites de especificação de espessura de tinta. O mesmo se verifica com a espessura de tinta média obtida nos elementos de controlo. Verifica-se também que quando se efetuam as medições de espessura nas peças plásticas com revestimento metálico, obtém-se medições de espessura de tinta mais elevadas do que quando se efetuam as medições com o microscópio ótico nas peças pintadas e no elemento metálico.

Com o intuito de estudar se a variação da viscosidade de tinta tem influência na variação de espessura de tinta decidiu-se medir a sua viscosidade no início e no final do processo de pintura. Na Figura 79 encontra-se a viscosidade da tinta medida no início e no final do processo de pintura.

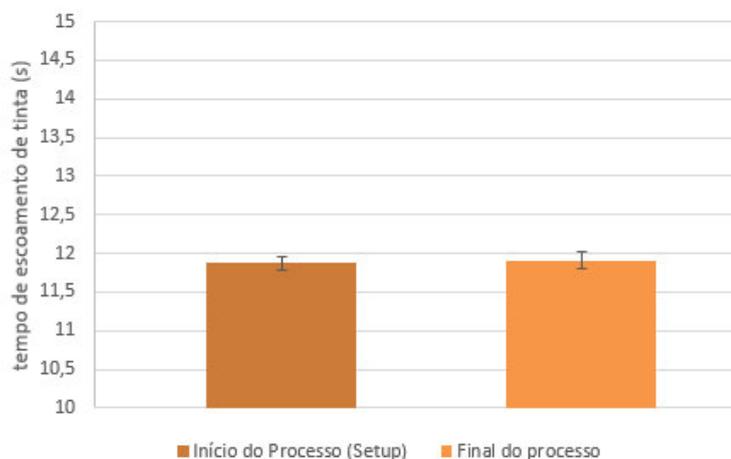


Figura 80-Variação do tempo de escoamento da tinta ao longo do processo de pintura dos Botões Porsche

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

Analisando a figura anterior pode-se verificar que o tempo de escoamento da tinta medida no início do processo de pintura dos botões é inferior mas muito semelhante ao medido no final do processo, o que permite afirmar que a viscosidade de tinta se mantém praticamente constante ao longo do processo de pintura. Como os tempos de escoamento de tinta medidos apresentam uma variação muito reduzida, pode-se afirmar que os valores de viscosidade de tinta medidos nas várias produções de pintura são muito semelhantes.

5.2.3. Lentes *Volvo HUD*

Na Figura 80 encontra-se a variação da espessura de tinta média obtida nos elementos de controlo no início (*Setup*), no meio e no final do processo de pintura. Neste gráfico também estão representados os limites de especificação de espessura de tinta definidos na *Ficha de Setup* do produto (Anexo 3).

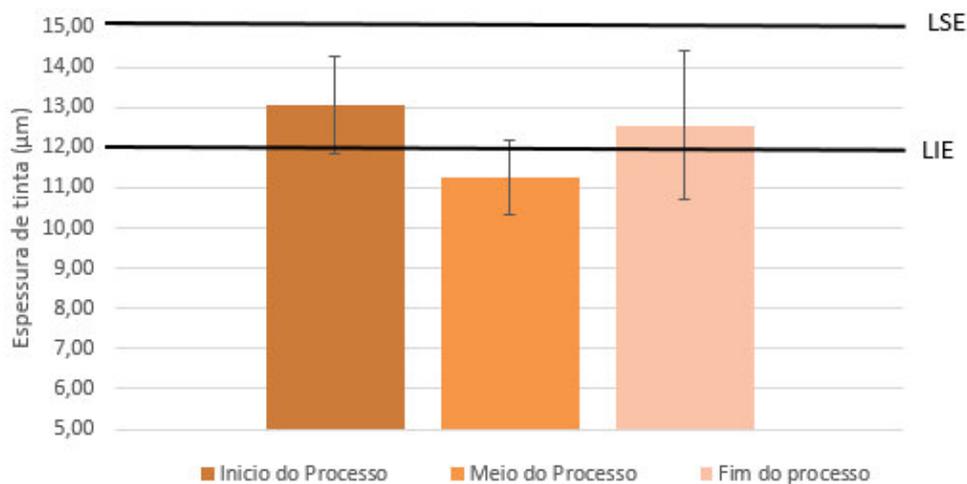


Figura 81- Espessura de tinta obtida nos elementos de controlo no processo de pintura

Analisando a figura anteriormente apresentada verifica-se que a espessura de tinta obtida nos elementos de controlo no meio do processo de pintura se encontra abaixo do limite inferior de especificação. Verifica-se que a espessura de tinta obtida nos elementos de controlo é mais elevada no início do processo de pintura. No meio do processo de pintura é quando o elemento de controlo apresenta menor espessura de tinta. No final do processo obtém-se uma espessura de tinta mais elevada do que no meio do processo mas menos elevada do que no início do processo de pintura. Isto acontece porque quando se inicia a produção de um lote de pintura, quer os parâmetros de *Setup* quer a temperatura e a humidade da cabine de pintura estão estáveis. Com o avançar da produção, o processo pode sofrer alterações e os parâmetros de pintura deixam de estar estáveis pelo que pode influenciar as características da tinta, nomeadamente a sua viscosidade. Assim, o revestimento não é aplicado com a mesma espessura em todas as moldações.

Na Figura 81 encontra-se representada a variação de espessura de tinta nas peças plásticas numa rede no início, no meio e no final do processo de pintura.

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

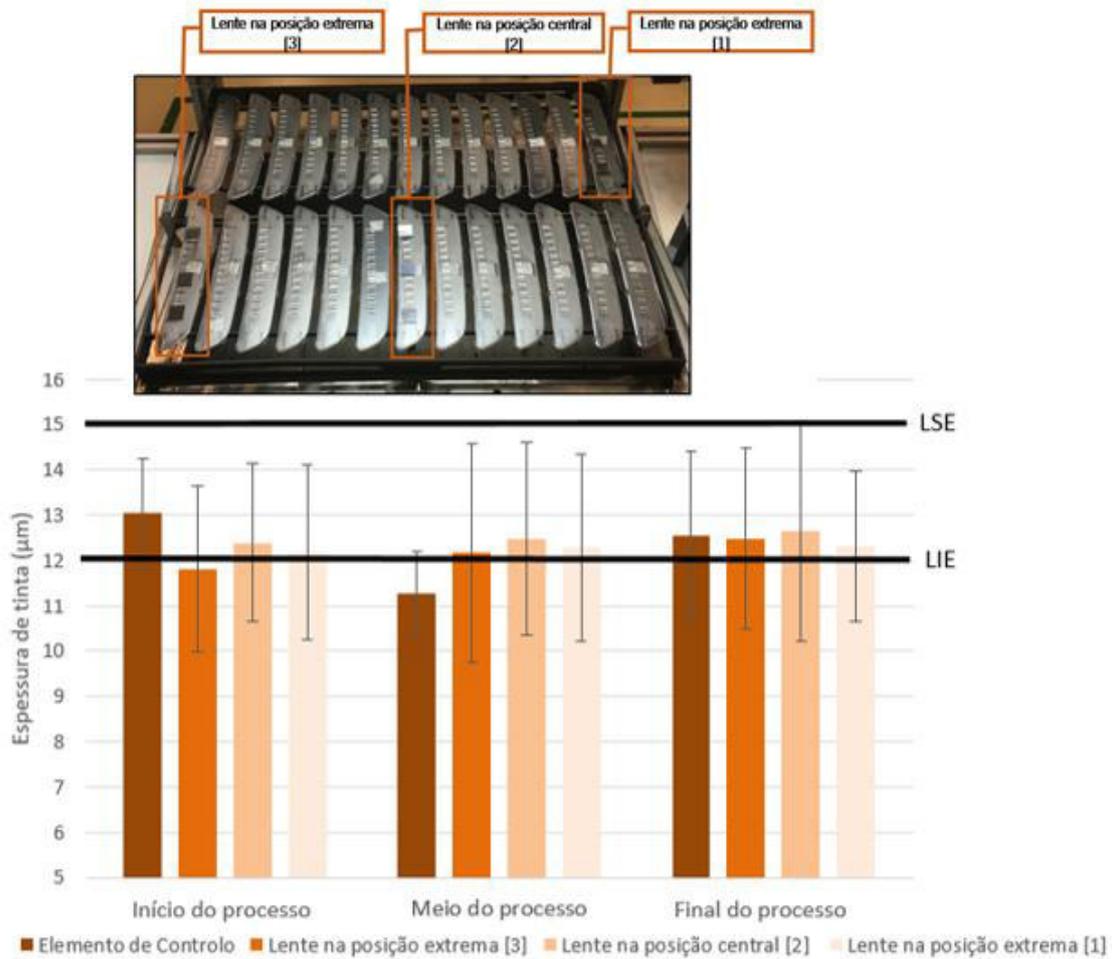


Figura 82- Variação da espessura de tinta média numa rede ao longo do processo de pintura

Analisando a figura anteriormente apresentada verifica-se que no início do processo a lente que se encontra na posição extrema [3] tem espessura de tinta abaixo do limite de especificação. Nesta fase do processo de pintura verifica-se que a lente que contém maior espessura de tinta é a que se encontra na posição central uma vez que é nesta zona que as peças são revestidas com maior quantidade de tinta. O mesmo se verifica no meio e no final da produção de um lote de pintura. Verifica-se também que os elementos de controlo apresentam maior variação de espessura de tinta do que as peças plásticas ao longo do processo de pintura.

Para apresentar os resultados obtidos na variação de espessura de tinta através do microscópio ótico nas lentes começa-se por apresentar a variação existente na amostra 1, seguida da amostra 2 e por fim a amostra 3.

Na Figura 82 encontra-se a variação de espessura de tinta obtida na medição de espessura de tinta das imagens retiradas na amostra 1.

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

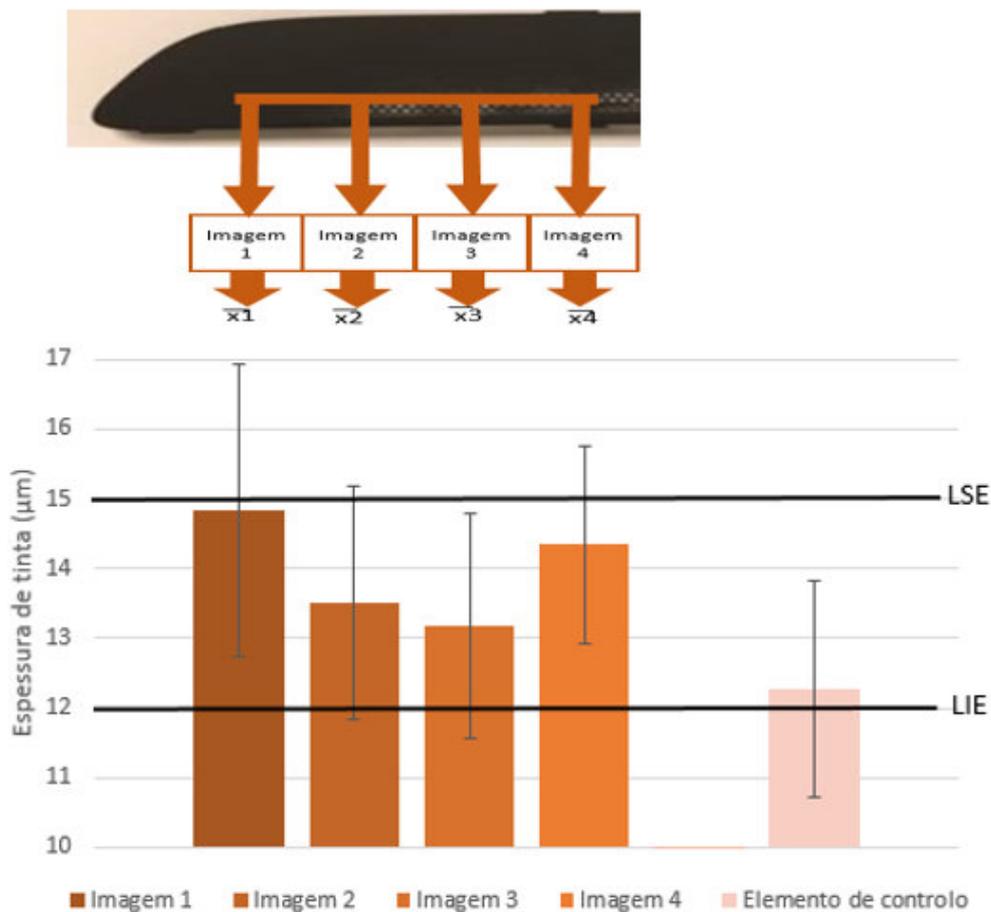


Figura 83- Variação da espessura de tinta na amostra 1 e no elemento de controlo

Na figura anterior encontra-se ilustrada a variação de espessura de tinta nas imagens retiradas à amostra 1, estando também identificada a zona das lentes onde se retirou a amostra e onde se tiraram as quatro imagens para proceder às medições de espessura. Estão também representados os limites de especificação de espessura de tinta.

Da análise do gráfico pode-se verificar que nesta zona da lente a espessura de tinta sofre variação significativa, apresentando maior espessura de tinta na zona extrema (imagem 1) e menor na zona central da amostra (imagem 2 e 3). Verifica-se que os desvios padrões obtidos nas medições em cada imagem são significativos, tendo-se obtido nalguns casos valores de espessura de tinta fora dos limites de controlo. A espessura de tinta obtida nos elementos de controlo encontra-se dentro dos limites de especificação e é mais reduzida do que a espessura de tinta obtida nas peças plásticas uma vez que o valor de espessura de tinta medido pelo medidor de espessura depende da força e da inclinação da ponteira utilizada pelo utilizador. Além disso, o elemento de controlo é uma chapa metálica pelo que o comportamento do revestimento na sua superfície pode ser diferente do que na superfície plástica.

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

A variação de espessura de tinta obtida nas medições efetuadas nas imagens retiradas na amostra 2 está ilustrada na Figura 83.

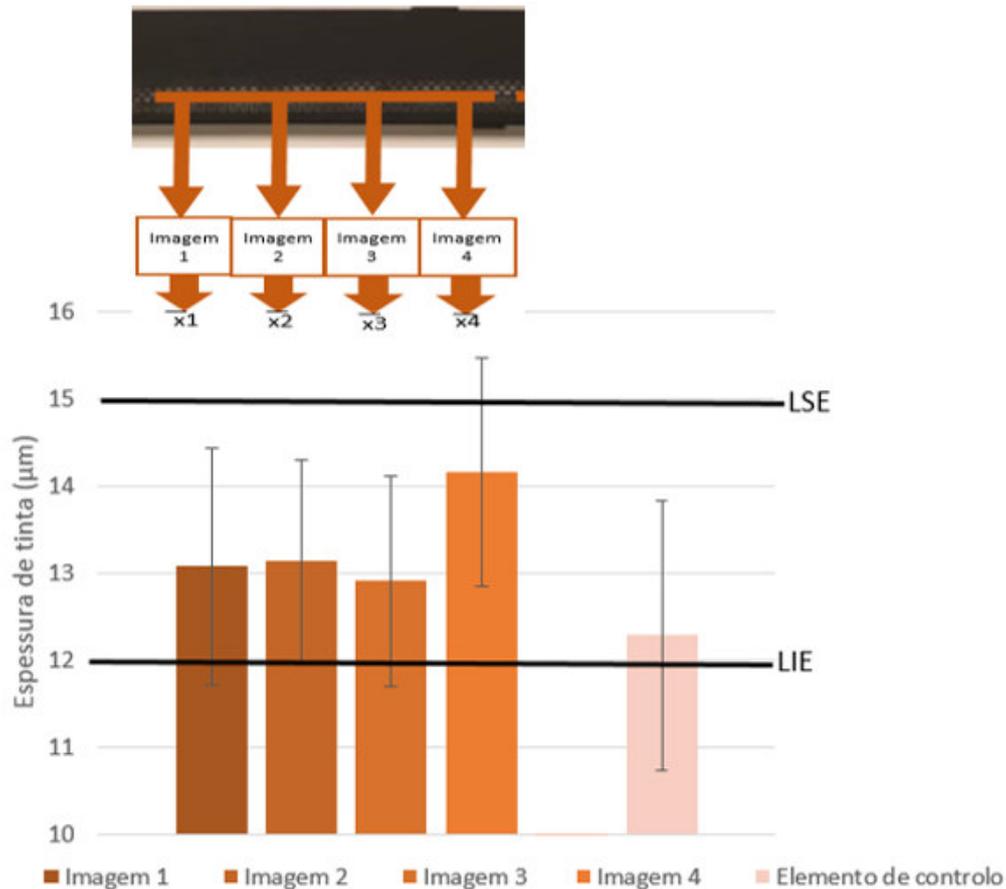


Figura 84-Variação de espessura de tinta na amostra 2 e no elemento de controlo

Na figura anterior encontra-se ilustrada a variação de espessura de tinta nas imagens retiradas à amostra 2, estando também identificada a zona das lentes onde se retirou a amostra e onde se retiraram as quatro imagens para proceder às medições de espessura. Também estão representados os limites de especificação de espessura de tinta.

Analisando a figura pode-se facilmente constatar que a espessura de tinta média obtida nas imagens retiradas e no elemento de controlo se encontram dentro dos limites especificados. No entanto, verifica-se que em todas as medições efetuadas se obtiveram desvios padrões significativos, tendo nalguns casos se obtido valores de espessura de tinta para a peça e para os elementos de controlo fora dos limites de especificação. Verifica-se que a zona da amostra 2 que contém maior espessura de tinta é onde se retirou a imagem 4 (na zona mais extrema da amostra) sendo que na imagem 3 foi onde se obteve menor espessura de tinta. A espessura de tinta no elemento de controlo é menor do que a espessura de tinta obtida em cada uma das imagens uma vez que para medir a espessura de tinta no elemento de controlo

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

se utiliza um medidor de espessura e o seu valor de espessura medido depende da força e da inclinação da ponteira utilizada pelo utilizador.

Na Figura 84 encontra-se ilustrada a variação de espessura de tinta obtida na medição de espessura de tinta na amostra 3 retirada das lentes Volvo HUD.

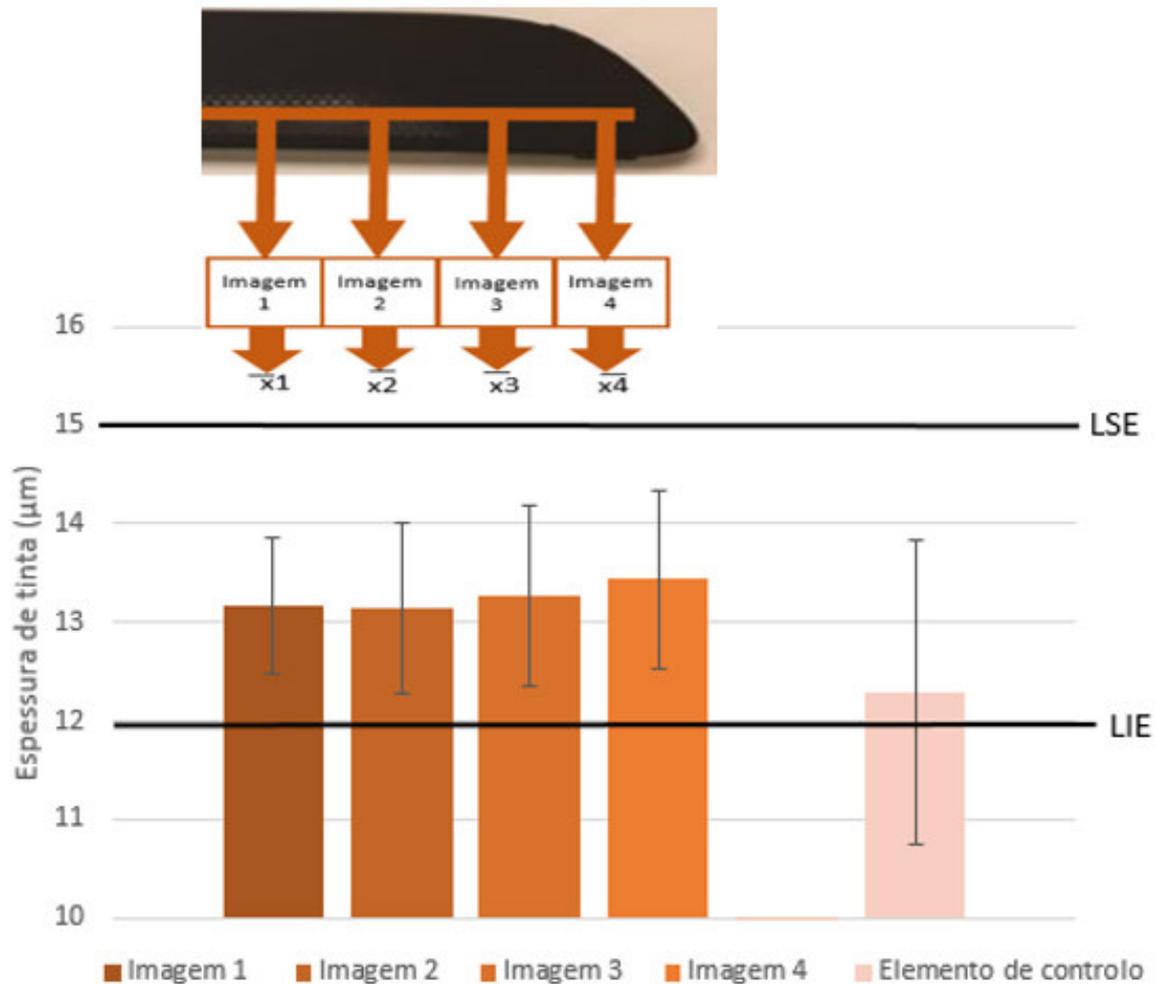


Figura 85- Variação de espessura de tinta na amostra 3 e no elemento de controlo

Analisando a figura anteriormente apresentada pode-se constatar que a espessura de tinta média obtida nesta zona da lente apresenta variação pouco significativa uma vez que a espessura de tinta média obtida em cada imagem retirada é próxima. Em relação aos desvios padrões resultantes das medições de espessura pode-se verificar que estes são pouco significativos em comparação com os obtidos nas amostras 1 e 2. A zona da amostra 3 que possui maior espessura de tinta é a zona mais extrema da lente (a imagem 4) e a que apresenta menor espessura de tinta é a amostra 2 (zona mais central da amostra). A espessura de tinta obtida em cada uma das imagens encontra-se dentro dos limites de espessura de tinta especificados, no entanto apresenta um valor de espessura de tinta superior à espessura de tinta do elemento de controlo. Isto pode acontecer uma vez que para medir a espessura de tinta no elemento de

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

controlo se utiliza um medidor de espessura e o seu valor de espessura medido depende da força e da inclinação da ponteira utilizada pelo utilizador.

Na Figura 85 encontra-se representada a variação da espessura de tinta média medida com o microscópio ótico, bem como a variação da espessura de tinta média medida com o medidor de espessura nas peças revestidas com o componente metálico e os limites de especificação de espessura de tinta.

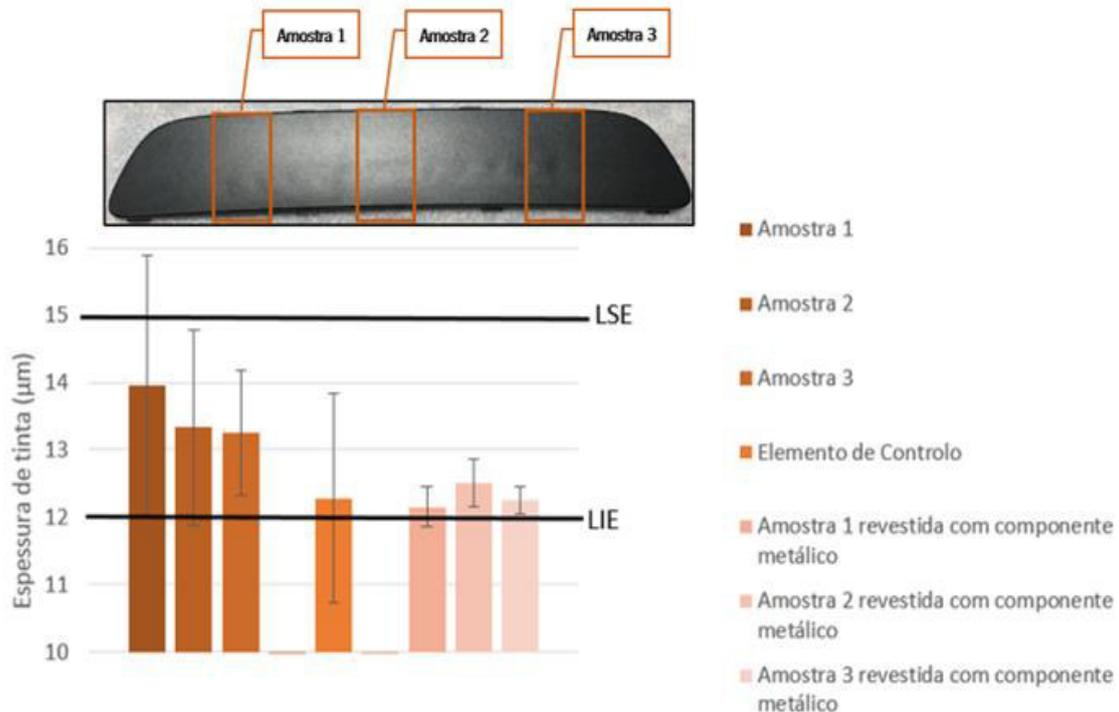


Figura 86- Variação de espessura de tinta na lente Volvo HUD e no elemento de controlo no processo de pintura

Na figura anterior encontra-se a variação de espessura de tinta na lente *Volvo HUD*, com identificação das zonas da lente onde foram retiradas as amostras 1, 2 e 3 a fim de proceder a medições de espessura de tinta. Também se encontram representados os limites de especificação de espessura de tinta.

Observando a figura anterior é possível verificar que a lente *Volvo HUD* apresenta variações de espessura de tinta uma vez que os valores de espessura de tinta obtidos em cada amostra diferem entre si. No entanto, os valores de espessura de tinta médios obtidos em cada amostra e nos elementos de controlo encontram-se dentro do limite de especificação de tinta. A espessura de tinta medida diretamente nas peças plásticas com o microscópio ótico é mais elevada do que quando se efetuam as medições de espessura de tinta nas peças com revestimento metálico com a utilização do medidor de espessura. Já as medições efetuadas no elemento de controlo com o medidor de espessura apresentam variação significativa e o seu valor médio é próximo aos valores medidos quando se efetuam as medições nas peças revestidas.

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

Na Figura 86 encontra-se ilustrada a variação do tempo de escoamento de tinta no início e no final do processo de pintura de modo a verificar se a sua variação da viscosidade da tinta tem influência sobre a distribuição de espessura de tinta.

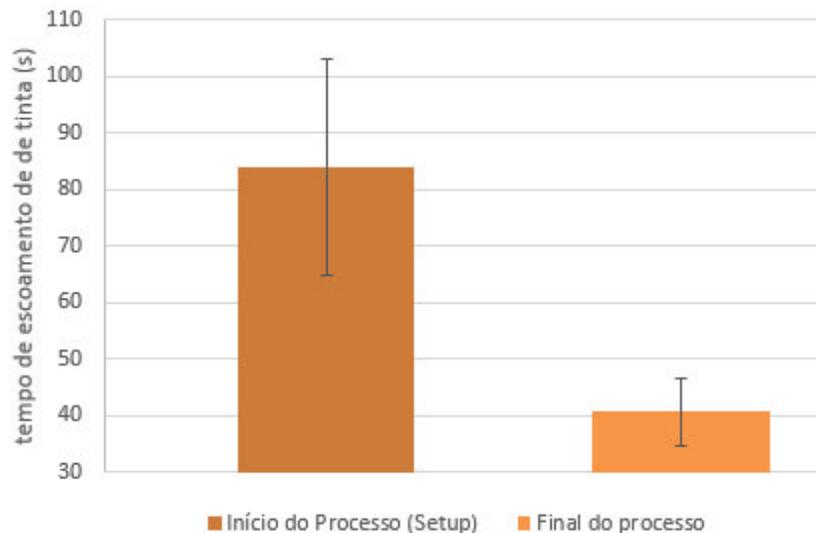


Figura 87- Variação do tempo de escoamento da tinta no processo de pintura das lentes *Volvo HUD*

Analisando a figura anterior pode-se verificar que esta tinta apresenta um comportamento bastante diferentes das apresentadas anteriormente uma vez que apresenta maior viscosidade de tinta (maior tempo de escoamento de tinta) e maior variação desta ao longo do processo de pintura. Nesta tinta verifica-se que o tempo de escoamento de tinta medido no início do processo de pintura é muito mais elevado do que o medido no final do processo, apresentando uma diminuição de cerca de 45 segundos. Como tempos de escoamento de tinta medidos apresentam grande variação, pode-se afirmar que os valores de viscosidade de tinta medidos nas várias produções de lotes de pintura diferem entre si. A variação de viscosidade de tinta é mais elevada no início do processo de pintura. A viscosidade de tinta ao longo do processo de pintura diminui bastante uma vez como a tinta se encontra a circular no circuito durante 3/5 horas e ao ser constantemente filtrada torna-se menos viscosa.

Como a viscosidade da tinta se altera ao longo de uma produção de pintura e não se procede a alterações nos parâmetros de *Setup* nem se altera a abertura da pistola, esta começa a debitar maior quantidade de tinta. Assim, são produzidas peças com não uniformidade de espessura de tinta. Também o tempo de agitação influencia as características da tinta uma vez que quanto mais elevado for o tempo de agitação da tinta menor é a viscosidade.

5.4. Efeito do Flash-Off na espessura de tinta

5.4.1. Botões Porsche

Na Figura 87 encontra-se ilustrada a influência do tempo de *flash-off* na espessura de tinta das peças plásticas.

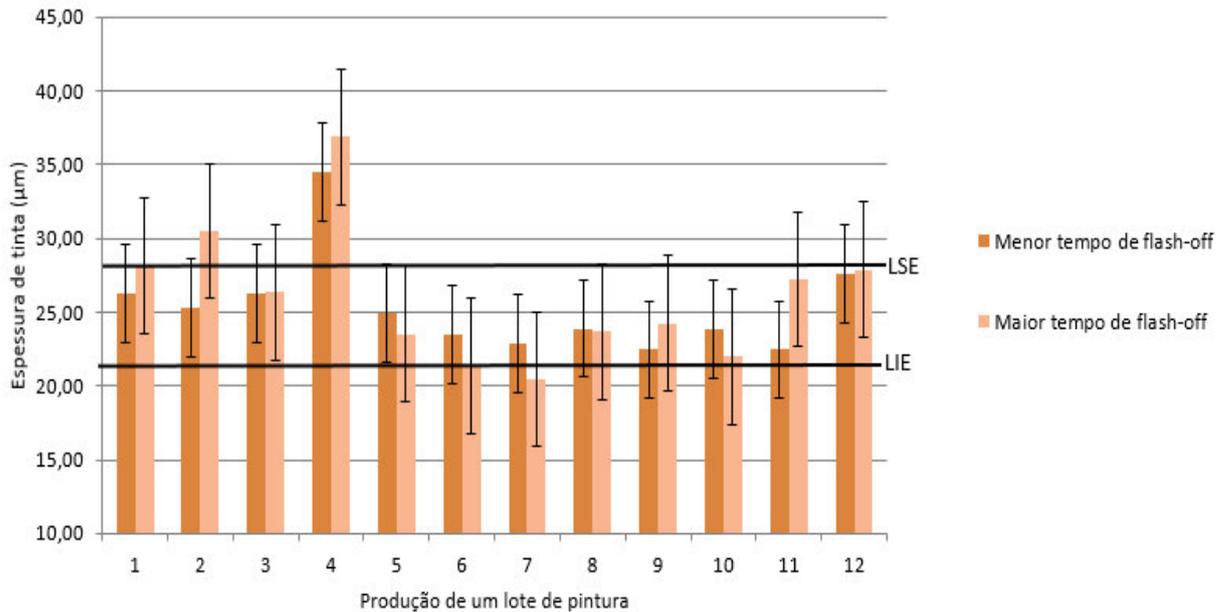


Figura 88- Influência do tempo de *flash-off* na espessura de tinta nas peças plásticas

Analisando o gráfico acima apresentado pode-se verificar que não se consegue estabelecer uma influência direta do tempo de *flash-off* na espessura de tinta das peças plásticas uma vez que em algumas produções verifica-se que quando as peças são sujeitas a um maior tempo de *flash-off* apresentam maior espessura de tinta e noutras produções as peças que são sujeitas a um menor tempo de *flash-off* apresentam maior espessura de tinta. Verifica-se também que em algumas produções as peças apresentam espessura de tinta fora dos limites de especificação. A pouca influência do tempo de *flash-off* na espessura de tinta pode estar relacionada com a quantidade de pigmento que constitui a tinta e com as suas características.

5.4.2. Lentes Volvo HUD

Na Figura 88 encontra-se ilustrada a influência do tempo de *flash-off* na espessura de tinta das peças plásticas.

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

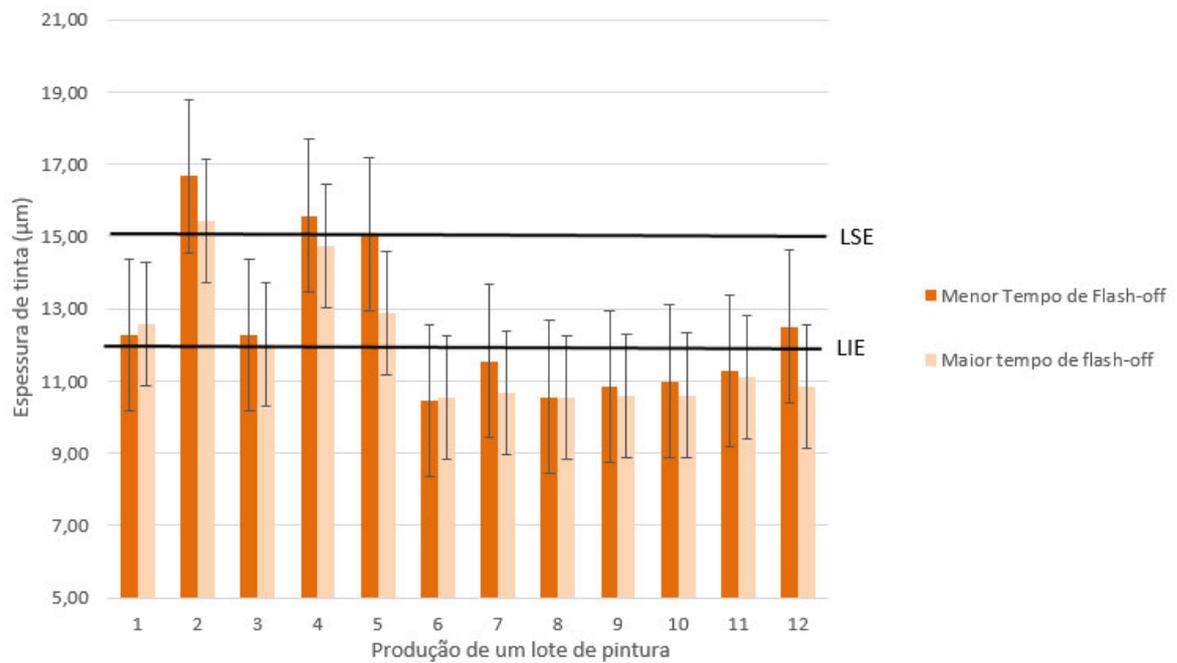


Figura 89- Influência do tempo de *Flash-off* na espessura de tinta das peças plásticas

Analisando o gráfico apresentado na Figura 88 verifica-se que em algumas produções de um lote de pintura se obtiveram peças com espessura de tinta fora de especificação. Isto acontece porque durante o *flash-off* apenas ocorre a evaporação de parte do solvente sendo necessária uma secagem em estufas para que todo o solvente evapore e se obtenha peças com a espessura de tinta estimada. Verifica-se também que quando as peças são sujeitas a um tempo de *flash-off* mais longo apresentam menor espessura de tinta uma vez que ocorre maior evaporação do solvente do que nas peças em que o *flash-off* é mais curto.

Capítulo 6

Conclusão e Trabalhos Futuros

Conclusão

A Dissertação de Mestrado realizada permitiu cumprir os objetivos propostos no início do trabalho e confirmar a complexidade do processo de pintura nas peças plásticas. O processo de pintura é um processo extremamente complexo de controlar uma vez que existem variados fatores que o influenciam.

Em relação ao estudo onde se prevê o efeito das variáveis operatórias no processo de pintura pode-se concluir que para obter peças com a espessura de tinta dentro do limite especificado na *Ficha de Setup* pode-se utilizar o *Flow-Rate* quer no limite mínimo quer no máximo de especificação desde que se use a *Atomização* e o *Fan Pressure* adequado para formar o leque com a largura, forma e com o tamanho das gotículas de tinta adequadas. Para a obtenção de peças pintadas com a espessura de tinta especificada utilizando um *Flow-Rate* mínimo especificado é necessário que se utilize a pressão de *Atomização* a 3.4 bar e que o *Fan Pressure* oscile entre 3.4 e 3.8 bar. Por outro lado, quando se utiliza o *Flow-Rate* máximo especificado para obter peças com a espessura de tinta uniforme deve-se utilizar a *Fan Pressure* a 3.8 bar e a pressão de *Atomização* a oscilar entre 3.4 e 3.8 bar.

No estudo da variação de espessura de tinta nas peças plásticas retiram-se como principais conclusões que o processo de pintura apresenta grande variabilidade uma vez que os desvios padrão obtidos são elevados, fazendo com que em alguns casos se obtenham medições de espessura de tinta nas peças fora dos limites de especificação de espessura de tinta. Esta variação é mais notória quando se efetuam as medições de espessura de tinta nas peças plásticas revestidas com o componente metálico usando o medidor de espessura presente na empresa.

A espessura de tinta nas peças plásticas revestidas com o componente metálico obtida com o medidor de espessura é mais elevada do que a obtida com o medidor de espessura nos elementos de controlo e quando se efetuam as medições diretamente nas peças plásticas com o Microscópio Ótico uma vez que quando se utiliza este equipamento se obtém valores de espessura de tinta dentro dos limites especificados na *Ficha de Setup*.

Quanto à variação de espessura de tinta obtida com o medidor de espessura nos elementos de controlo, verifica-se que a sua variação é muito semelhante à variação de espessura de tinta quando se utiliza o Microscópio Ótico para efetuar as medições de espessura de tinta nas peças plásticas. Por isso, pode concluir-se que a espessura de tinta medida no elemento metálico que é utilizado para controlo da espessura de tinta durante a produção de um lote de pintura se encontra dentro dos limites de especificação de espessura de tinta e se aproxima do valor real de espessura de tinta nas peças plásticas como se constatou com a utilização do microscópio ótico.

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

Em suma, o trabalho realizado revelou que a espessura de tinta obtida nos elementos de controlo durante a produção de um lote de pintura não apresenta uma variação tão elevada quanto se pensava no início do projeto em relação à espessura de tinta medida diretamente nas peças plásticas. Em relação ao efeito das variáveis operatórias, pode-se afirmar que o uso de uma correta relação entre a *Atomização*, o *Fan Pressure* e o *Flow-Rate* permite a obtenção de peças pintadas com a espessura de tinta dentro de especificação. As variações de espessura de tinta mais significativas que por vezes se verificam em algumas produções de pintura advém da interação e influência de todas as variáveis operatórias envolvidas no processo de pintura. É necessário um controlo muito rigoroso de todas as variáveis do processo para evitar a ocorrência de grandes variações de espessura de tinta.

Trabalhos Futuros

Os trabalhos que poderão ser realizados no futuro no âmbito deste estudo desenvolvido devem envolver um controlo de cada uma das variáveis estudadas de modo independente. Isto é, ver de que modo cada variável influencia a distribuição de espessura de tinta. Assim, pode-se determinar experimentalmente quais são as variáveis mais influentes sobre a espessura de tinta. Pode também ver-se de que modo a pressão existente no interior da cabine de pintura tem influência sobre o tamanho e a forma das gotículas de tinta formadas.

Também deve ser medida a viscosidade da tinta em fluxo, uma vez que esta pode ter um comportamento diferente quando está em fluxo, isto é, quando se encontra a circular no circuito de pintura (caso real) do que quando se mede a viscosidade com o copo utilizado na empresa (modo teórico). Para isso, a tinta terá que ser submetida a ensaios reológicos.

Pode também estudar-se diretamente a influência da distribuição de espessura de tinta no processo de laser. Para isso, devem ser produzidas peças com espessura fora de especificação e submete-las ao processo de laser, estimando e medindo a quantidade de tinta que foi queimada pelo laser e removida. Assim, consegue-se estudar a influência direta da não uniformidade de espessura no processo subsequente- o laser.

Um estudo que também poderá ser muito interessante é a realização do estudo descrito no presente trabalho mas em vez de se utilizar as peças plásticas carregadas em jigs e redes para medição de espessura de tinta, utilizar uma chapa metálica com o comprimento e largura da rede utilizada no processo de pintura. Assim, consegue-se medir a espessura de tinta em toda a rede e estudar a sua distribuição ao longo de uma rede.

Bibliografia

(s.d.).

- LabECO - COPPE/UFRJ . (s.d.). *ATOMIZAÇÃO E SPRAYS*. Obtido em 21 de Março de 2016, de Seminário de Combustão e Energia:
<http://www.oceanica.ufrj.br/labeco/combustao/materiais/curso%20VSE%20Injetores.pdf>
- Alireza Bahadori, P. (2015). *Essentials of Coating, Painting, and Lining for the Oil, Gas, and Petrochemical Industries*. Lismore: Elsevier.
- Bon, A. L. (s.d.). *SOSIUS all for one, one for all*. Obtido em 9 de Março de 2016, de my.sosius:
http://my.sosius.com/ww/transfer/default.aspx?nodepath=/ary_bon/ary_luiz_bon/artigos_e_publica%25C3%25A7%25C3%25B5es/serigrafia/a_cura.pdf/v.1&action=download
- Carvalho, J. (2013). *Definição de condições de pintura de peças para autorrádio*. Tese de Mestrado , Universidade do Minho, Departamento de Engenharia de Polímeros, Guimarães .
- Company, T. D. (2015). *Understanding Paint*. Obtido em 2016 de Março de 17, de Paint Quality Institute:
<http://www.paintquality.com/en/understanding-paint/water-based-vs-solvent-based>
- Donadio, P. A. (2011). *Manual Básico sobre Tintas* . Águia Quimica .
- Gary S. Settles, J. D. (23 de Maio de 2015). VISUALIZATION AND COLLECTION OF OVERSPRAY FROM AIRLESS SPRAY PAINTING. Obtido em 5 de Fevereiro de 2015, de
https://www.researchgate.net/publication/252422752_VISUALIZATION_AND_COLLECTION_OF_OVERSPRAY_FROM_AIRLESS_SPRAY_PAINTING
- Gnecco, C., Mariano, R., & Fernandes, F. (2013). *Tratamento de Superfície e Pintura*. Rio de Janeiro, Brasil: Instituto Brasileiro de Siderurgia / Centro Brasileiro da Construção em Aço.
- Goldschmidt, A., & Streitberger, H.-J. (2007). *Basics of Coating Technology 2nd revised edition*. Münster: BASF Coatings AG.
- Houck, M. M., & Siegel, J. A. (2015). *Fundamentals of Forensic Science (Third Edition)*. Oxford: Academic Press .
- Izdebska, J. (2016). Printing on Polymers: Theory and Practice. In J. Izdebska, & S. Thomas, *Printing on Polymers* (pp. 1-20). Warsaw, Poland: Elsevier Inc.
- Liu, H. (1999). Processes and Techniques for Droplet Generation. In H. Liu, *Science and Engineering of Droplets: Fundamentals and Applications* (pp. 19–120). William Andrew.
- McKeen, L. W. (2016). Application of Liquid Coatings. In L. W. McKeen, *Fluorinated Coatings and Finishes Handbook (Second Edition): The Definitive User's Guide* (pp. 171-183). William Andrew.
- McKeen, L. W. (2016). Measurement of Coating Properties and Performance. In L. W. McKeen, *Fluorinated Coatings and Finishes Handbook (Second Edition)* (3ª ed., pp. 227–259). William Andrew.
- McKeen, L. W. (2016). Solvent Systems. In L. W. McKeen, *Fluorinated Coatings and Finishes Handbook (Second Edition)* (2ª ed., pp. 107–118). ELSEVIER.
- Monaro, R. L., Lima, M. C., & Tonetti, M. M. (s.d.). PLÁSTICOS DE ENGENHARIA COMO AGENTES COMPETITIVOS NA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA. *Revista Intellectus*, 01, 34.

- Plastics, G. (1998). *Painting Guide*.
- Plastics, G. (Fevereiro de 2001). Plastics meet automotive industry requirements. *Plastics, Additives and Compounding*, 3(2), 32–35.
- Pomona, N. Y. (2010). *Metal Finishing* (Vol. 108). Elsevier.
- Reference Module in Materials Science and Materials Engineering* (Vol. Volume 4: Management and Control of Corrosion). (2010). ELSEVIER.
- Roobol, N. R. (1991). *Industrial Painting: Principles and Practices*. (F. Edition, Ed.) Hitchcock Publishing Company.
- Rossi, D. (Setembro de 2011). *Pintura em Peças de Plástico*. Obtido de yolasite: <http://professordanielrossi.yolasite.com/resources/Tintas%20Industriais%201.pdf>
- Rossi, D. F. (Abril de 2008). *Tratamento de Superfícies*. Obtido de yolasite: <http://colegiometal.yolasite.com/resources/Curso%20de%20Pintura%20em%20Plasticos.pdf>
- Schwalm, R. (2007). *UV Coatings- Basics, Recent Developments and New Applications*. Elsevier.
- Schwalm, R. (2012). *Materials Science and Materials Engineering* (Vol. 10). Ludwigshafen: ELSEVIER.
- Settles, G. S. (1997). A Flow Visualization Study of Airless Spray Painting. *Proceedings of the 10th Annual Conference on Liquid Atomization and Spray Systems*, (pp. 145-149). Ottawa.
- Shanshan Yao, J. Z. (2012). Effect of viscosities on structure and instability of sprays from a swirl atomizer. In J. Z. Shanshan Yao, *Experimental Thermal and Fluid Science* (Vol. 39, pp. 158–166). ELSEVIER.
- Siegel, J. A., & Saukko, P. J. (2013). *Encyclopedia of Forensic Sciences (Second Edition)*. London, Waltham, San Diego, USA: Academic Press.
- Skinner, D. (Julho/Agosto de 2003). *UV Curing in the Plastic*. Obtido em 23 de Novembro de 2015, de radtech: http://www.radtech.org/images/pdf_upload/plasticcomponentsjulaug03.pdf
- Spies Hecker. (s.d.). *GMolton COATING SOLUTIONS*. Obtido em 2016 de Fevereiro de 18, de gmolton: http://www.gmolton.com/images/pdfs/tsg_eng-int.pdf
- Technonspray Máquinas e Equipamentos Ltda. (2001). *Sistemas de Pulverização*. Duque de Caxias, Rio de Janeiro, Brasil.
- Tintas WEG. (s.d.). *weg*. Obtido em 9 de Março de 2016, de WEG: <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-solucao-para-defeitos-de-pintura-com-tintas-liquidas-catalogo-portugues-br.pdf>

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

ANEXOS

Anexo 1- Ficha de Setup do Botão Eject VW MIB

DELPHI				FICHA DE SETUP				Data:			
DOC nº		43	04	Relatório	Programa	4	<input type="checkbox"/>	Camadas			
Project		Vw MIB		PART SET	Receita	R1	<input type="checkbox"/>	2 Camadas <input type="checkbox"/>			
Maq.		Sprimog 1		Forno	Programa	30 min	<input type="checkbox"/>				
TINTA / MISTURA											
Tinta		Hardener		Solventes		Validade		Temperatura			
Mix Ratio	1	14-15:1	90% (70%+20%)		<input type="checkbox"/>		17 - 24°C				
Paint	2LL9705000	2HA1005000	VC009	VE135							
Part Number	28227585	28227556	28227552	28287629	Agitação		Viscosidade				
Pot Life	120 min					>5 min		DIR4 12-14s			
Lote											
UNIDADE DE ALIMENTAÇÃO				CABINE							
Ref		Uni		Check		Ref		Uni		Resultado	
2K Regulator	1	bar	<input type="checkbox"/>	Pressão	Negativa	-			<input type="checkbox"/>		
Paint P.	2	bar	<input type="checkbox"/>	Temp.	20 - 28	°C					
Hardener P.	≥ Paint P + 1	bar		Humidade	30 - 68	%					
PISTOLAS											
Ref		Gun 1		Check		Ref		Uni		Gun 1	
Nozzle	0,8 NK35	<input type="checkbox"/>		Atomização	3,6	bar			<input type="checkbox"/>		
Altura	11	<input type="checkbox"/>		Fan Press.	3,6	bar			<input type="checkbox"/>		
Ângulo	10	<input type="checkbox"/>		Flow Rate	70-90	ml/mir					
Dist. Lateral	25	<input type="checkbox"/>									
Air Cap	0	<input type="checkbox"/>									
RESULTADOS											
BRILHO (60°)			ESPESSURA						ADERÊNCIA		
Referenci	2	± 0,2 UB	Referenci	23	± 3 µm	<input type="checkbox"/>		Referenci	GT 1		
Resultado			Resultado					Resultado			
Média			Média								
<div style="border: 1px dashed black; padding: 5px; width: fit-content;">Cupão</div>				<div style="border: 1px dashed black; padding: 5px; width: fit-content;">Colar Placa Metálica</div>				VISUAL CHECK			
								OK		NOK	
Validado		Verificado		Validado		Verificado					
Párametro		Valor		Razão de verificação		Validação					
No caso de algum parâmetro fora: 1) Necessária a validação do corp. do reactor 2) Identificar as travessas com um dot verde											

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

Anexo 2- Ficha de Setup dos Botões Porsche

FICHA DE SETUP										Data:	
										Hora:	
DOC. n.º	49	11	Relatório		Programa	Concisa Digital	<input type="checkbox"/>	Comodar			
Project	PORSCHE ART		PART	SBT7 SB3-6 / SB1-4 / SE1-2	Forno	Programa 30 min	<input type="checkbox"/>	Camada Única		<input type="checkbox"/>	
Req.	Sprimaq2										
TINTA / MISTURA											
Mix Ratio (%)	Tinta	Hardener	Solvente	Check	Validade		Temperatura				
Paint	LD 801M-A05	20407	37745	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		15-25 °C				
Part Number	28394201	28274916	28171330	<input type="checkbox"/>	Agitação		Viscosidade				
Pot Life	360 min				25 min		DIN 4 1				
Lote											
Quant. (Kg)											
UNIDADE DE ALIMENTAÇÃO											
	Ref	Unid	Resultado								
Forward P.	1	bar									
Pump P.	6	bar									
Back P.	0,5	bar									
Filtro	Amarelo	-	<input type="checkbox"/>								
CABINE				PISTOLA							
	Ref	Unid	Resultado	Ref	Pistola	Check					
Pressão	Negativa		<input type="checkbox"/>	Ref	S-333	<input type="checkbox"/>					
Temperatura	21 - 28	°C		Nozzle	0,8 NK45	<input type="checkbox"/>					
Humidade	30 - 66	%		Altera	11	<input type="checkbox"/>					
Atomização	3,8	bar	<input type="checkbox"/>	Ângulo	10	<input type="checkbox"/>					
Fan Pressure	3,4	bar	<input type="checkbox"/>	Dist. Lateral	17	<input type="checkbox"/>					
				Abertura	3-18	<input type="checkbox"/>					
RESULTADOS											
BRILHO (60°)			ESPESSURA				ADERÊNCIA				
Referência	6,5	± 10%	Referência	25	± 5 µm	Referência	GT 1				
Resultado			Resultado			Resultado					
Média			Média								
Colar Cupão						VISUAL CHECK OK NOK					
Colar Placa Metálica						Validado		Verificado			
						Folm		Inite			
No caso de algum parâmetro Falhar: 1) Reavaliar a validação de comp. de controle 2)			Parâmetros	Toler.	Razão de variação			Validação			

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

Anexo 3- Ficha de Setup das Lentes Volvo HUD

FICHA DE SETUP						Data:	
						Hora:	
DOC n.º	3	Relatório		Programa	HD1 HD1 CUB 1	Camada	
Project	HUD	PART SET	LENS + RETAINÉ R	Forno	Programa 30 min		1ª Camada (PRIMER)
Maq.	Sprimoq2						<input type="checkbox"/>
TINTA / MISTURA							
	Tinta	Check			Validade	Temperatura	
Mix Ratio (2)	100	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	18-25 °C	
Paint	Intermediate Black	<input type="checkbox"/>					
Part Number	28036242			Agitação	Viscosidade		
Lote				>10 min	DIN 5		
UNIDADE DE ALIMENTAÇÃO							
	Ref	Un	Resultado				
K Regulato	4,5	bar	<input type="checkbox"/>				
Filtro	Amarco	-	<input type="checkbox"/>				
CABINE				PISTOLA			
	Ref	Un	Resultado		Pistola	Check	
Pressão	Negativa	-	<input type="checkbox"/>		Ref	S-333	
Temperatura	20 - 28	°C			Nozzle	1,2 Hydro	
Humidade	30 - 66	%			Altura	11	
Atomização	3,6	bar	<input type="checkbox"/>		Ângulo	10	
Fan Pressure	3,6	bar	<input type="checkbox"/>		Dist. Lateral	17	
					Abertura	5 - 35	
						<input type="checkbox"/>	
						<input type="checkbox"/>	
						<input type="checkbox"/>	
						<input type="checkbox"/>	
RESULTADOS							
ESPESSURA					VISUAL CHECK		
Referência	12	- 3 µm		OK	NOK		
Resultado							
Média							
Color Placa Metálica			Validado	Verificado			
			Falta	Falta			
De acordo de alguns parâmetros Função: 1) Responsável validação de resp. de setup: 2)			Parâmetros	Toler	Razão de variação	Validação	

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

Anexo 4- Valores médios de espessura de tinta obtida no estudo do efeito das variáveis operatórias, em ca

Nº de experiências	Espessura de tinta (µm)	Condições de pintura								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Peça 1	13,00	14,67	18,33	20,17	13,83	15,00	18,67	22,83	14,00
	Peça 2	14,83	17,00	18,5	22,67	13,17	16,00	19,50	22,67	15,33
	Peça 3	15,50	15,67	20,17	21,33	14,67	16,5	18,00	21,83	13,00
2	Peça 1	15,17	21,50	23,17	22,67	18,83	21,67	21,00	27,00	18,33
	Peça 2	17,33	19,83	23,00	23,000	17,50	19,83	22,67	23,67	17,33
	Peça 3	17,50	19,00	23,00	26,00	19,50	19,83	24,00	22,83	19,67
3	Peça 1	17,00	21,50	21,83	23,33	20,17	21,83	21,33	19,17	19,17
	Peça 2	18,33	21,00	20,50	21,67	22,33	19,83	20,17	20,17	22,50
	Peça 3	16,17	20,50	22,67	22,00	19,17	20,33	18,83	20,33	22,17
4	Peça 1	17,00	21,50	21,83	23,33	20,17	21,85	21,33	19,17	19,17
	Peça 2	18,33	21,00	20,50	21,67	22,33	19,83	20,17	20,17	22,50
	Peça 3	16,17	20,50	22,67	22,00	19,17	20,33	18,83	20,33	22,17
5	Peça 1	15,83	22,17	18,17	19,83	18,17	20,17	20,33	22,50	19,33
	Peça 2	13,17	22,50	20,50	21,50	22,83	21,00	21,50	24,17	18,17
	Peça 3	15,67	22,67	19,50	22,50	18,67	21,17	19,67	21,67	17,00

da condição de pintura

Anexo 5- Ficha técnica da tinta utilizada para o processo de pintura do botão *Eject VW MIB*

Technical Data Sheet

ILLUMINON



revised on: 2010-07-15

Page 1 of 2

Name of product	:	2-Pack-NANO-Laserlacquer
Number of product	:	2LL9705000
Description of product	:	2-Pack-Speciallacquer for spraying on plastics (ABS, Polycarbonat, Bayblend)
Colour	:	satın L-1QB (VW), hydrolysis resistant
Degree of gloss	:	2,3 +/- 0,1 gloss units at 60 ° angle (DIN 67530)
Density (20°C)	:	1,05 – 1,15 g/ml
Solids content	:	46 – 48 %
Flash point	:	< 21 °C
Viscosity on delivery	:	30 – 50 s by <u>6mm</u> -cup, similar to DIN 53211
Substrate	:	ABS, Polycarbonate, Bayblend, <u>on primer:</u> Polyamide, Polypropylene
Preparation / clean with	:	no contamination on substrate; we recommend to clean with Antistatic-Standard 1AD0000000 or other preparation Immediately before spraying parts should be blown-off with ionized air
Layer of coatings	:	one coat or on recommended primer or basecoat
Storage stability	:	at room temperature in the original sealed cask: Lacquer : 12 months Hardener : 6 months The containers must always be closed properly. Exposure too moisture makes the hardener useless! Thinner : 60 months Lacquer to be stirred well before use !
Class of risk	:	A I (german VbF)
Identification	:	appropriate to the ordinance of dangerous material: Xi Irritant F Highly flammable



Technical Data Sheet

21117100000



revised on: 2010-07-15

Page 2 of 2

Mixing by hand or 3-K-Machine (gravimetric):

Hardener	:	2HA1005000
Ratio of components	:	100 : 20 (Lacquer : Hardener) Hardener to be added before thinner!
Thinner	:	VC009 or VE135
Addition of thinner	:	1 : 1 (Lacquer/Hardener-mix : Thinner)
Working consistency	:	12 – 13 s by 4mm -DIN-cup
Pot life	:	ca. 6 – 8 h (in depending on surrounding room-temperature)

2-K-Mixing-Machine (volumetric):

Thinner	:	1 : ~ 1,5 (Lacquer : Thinner)
Ratio of components	:	1 : ~ 11,8 (Hardener : <u>thinned</u> Lacquer)

Method of application	:	spraying high pressure, Air mix
Nozzle aperture + air cap	:	Machine : 0,5 – 0,8 mm manual or paint-robot: 0,8 – 1,2 mm
Spray gun pressure	:	2,5 – 3,5 bar (HP), > 4,5 bar (HVLV)
Material pressure	:	0,8 – 1,0 bar
Processing parameter	:	optimal paint plant temperature: 20 – 25 °C and rel. humidity: 50 – 60 %
Film thickness	:	~ 32 – 37 µm
Paint curing time (object temperature)	:	flash off time at least 5 minutes at room temperature and oven drying (e. g. at least 30 minutes at 80 °C by circulated air flow) Temperature below +15 °C curing process will slow d own or stop!
Consumption (theoretical)	:	~ 300 – 400 m ² /kg at 1 µm film thickness

Special instruction	:	---
---------------------	---	-----

The information contained in this Technical Data Sheet (TDS) based on our state knowledge at the above-specified date. It refers solely to the product indicated and constitutes no guarantee of particular quality. All users of this product are reminded that the information contained in this TDS does not eliminate the need to make a self assessment of workplace risk under the Health and Safety Work Act (HSWA) and the Control of Substances Hazardous to Health Regulations (COSHH); see also our HC-MSDS for this product.
It is the responsibility of the user to ensure that this information is appropriate and complete with respect to the specific use intended.
This TDS cancels and replaces any preceding edition.



Working parameters	<p>Laser decor paint LD801m-A05 has a long pot life of approx. 6 hours and therefore can be used with mixing of paint, hardener, and thinner. The mixing can also be done in a two or three component mixing equipment. The volumetric mixture can be given on request.</p> <p>If requested a little program for the mixing calculation can be sent.</p> <p>Nozzle size: 0.5 – 1.2 mm</p> <p>Atomiser pressure: 3 – 4 bar</p>
Temperature paint material	18 – 24°C
Temperature spray booth	16 – 24°C
Air humidity	30 – 60% rH
Flash off	5 – 10 minutes
Artificial drying	30 minutes at 80°C
Delivery viscosity	90 – 100 s DIN 53211, 4 mm Ø
Viscosity ready mixed material	approx. 55 s DIN 53211, 2 mm Ø
Shelf life	approx. 6 months at room temperature
Further indications:	<p>Please keep the tin containing the hardener always carefully closed because atmospheric humidity renders the hardener useless.</p> <p>Our colour inspection measuring device for the paint releases is a Konica-Minolta CM2500c instrument.</p>

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

Anexo 7- Ficha técnica da tinta utilizada para o processo de pintura das lentes *Volvo HUD*

G73
Laser Etch II
1K - Waterborne

product info

PRODUCT INFORMATION

PRODUCT DESCRIPTION:

1K - Waterborne coating suitable for Laser Etch and trim part applications on automotive interiors including pushbuttons and trim plates. This product exhibits good adhesion to most plastics including acrylics, polycarbonates, ABS, and PC/ABS. This coating meets or exceeds OEM standards showing excellent adhesion, application, durability and chemical resistance.

TECHNICAL DATA:

Mixing Ratio:	Paint is supplied to spray.
Color / Rex:	Black Mid Coat V / G73B1612
Viscosity:	50 - 60 sec. on #3 Zahn
Gloss at 60°:	22.0 - 28.0
VOC:	3.04 lbs/gal (as applied)
Theoretical Coverage:	400-650 sq ft/gal at 1.0 mils (as applied)
Dry Film Thickness:	0.8 - 1.2 mils
% Volume Solids:	27.12 % +/-3.0 (packaged)
Weight per Gallon:	8.82 +/-0.3 lbs/gal
% Weight Solids:	31.61 % +/-3.0 (packaged)
Conductivity:	Not Applicable

SPECIFICATIONS:

Ford:	W88M99J385A
DCX:	M8PP5-3
GM:	9984552

SUITABLE SUBSTRATES:

Adheres directly to ABS, PC/ABS, Polycarbonate and acrylics

SURFACE PREPARATION:

To achieve the best physical properties the surface to be coated should be free of mold-release agents, dirt, or any other contamination.

CURE SCHEDULE:

10 minutes flash.
20 -30 minutes bake at 180°F minimum to achieve maximum properties.

APPLICATION:

Conventional spray equipment, HVLP, electrostatic or bell.
Thoroughly mix contents with a mechanical agitator before using. Paint is supplied to spray. If necessary, use small amounts of water (150ml per 5 gals of paint). Do NOT OVER THIN.
Best application viscosity is 50 - 60 seconds on Zahn#3.
Apply 1 coat of coating. Recommended wet film build is 1.6 - 2.4 mils.
To build multiple coats, flash off or flash off and force cure between coats, to achieve desirable DFT.

STORAGE:

Store material indoors away from heat and sunlight. Recommended storage temperature between 40° and 90°F. Do not freeze.



TRANSPORTATION COATINGS BUSINESS UNITS

588 Robbins Drive Troy, Michigan 48065 248 588 3500 248 588 6398 Fax www.sherwin-automotive.com

© 2011 Sherwin-Williams Automotive Finishes Corp.

ESTUDO DA VARIAÇÃO DE ESPESSURA EM PEÇAS PLÁSTICAS

Anexo 8- Preparação das amostras para medição de espessura de tinta por Microscopia de Transmissão

Para preparar as amostras para análise por Microscopia de Transmissão utilizou-se amostras retiradas da amostra 1, 2 e 3 para que a medição de espessura nas duas técnicas fosse realizada na mesma zona. A metodologia seguida na preparação das amostras está ilustrada na figura seguinte.



Figura 90- Metodologia seguida na preparação de amostras para análise ao Microscópio de Transmissão