

UNESP

Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá

Graduação em Engenharia de Produção Mecânica

**UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE PLANEJAMENTO DE
EXPERIMENTOS NA ANÁLISE DE VIABILIDADE DE
ALTERAÇÕES NO PROCESSO DE PINTURA DE GRADES
ANTRACITE EM UMA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA**

Orientador: Prof. Dr. Messias Borges Silva

Aluna: Amanda Trombini

Guaratinguetá

2011

AMANDA TROMBINI

UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE PLANEJAMENTO DE EXPERIMENTOS NA
ANÁLISE DE VIABILIDADE DE ALTERAÇÕES NO PROCESSO DE PINTURA
DE GRADES ANTRACITE EM UMA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA

Trabalho de Graduação apresentado ao
Conselho de Curso de Graduação em
Engenharia de Produção Mecânica da
Faculdade de Engenharia do Campus de
Guaratinguetá, Universidade Estadual
Paulista, como parte dos requisitos para
obtenção do diploma de Graduação em
Engenharia de Produção Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Messias Borges Silva

Guaratinguetá
2011

T849u	Trombini, Amanda Utilização de técnicas de planejamento de experimentos na análise de viabilidade de alterações no processo de pintura de grades Antracite em uma indústria automotiva / Amanda Trombini – Guaratinguetá : [s.n], 2011. 94 f : il. Bibliografia: f. 81-85 Trabalho de Graduação em Engenharia de Produção Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2011. Orientador: Prof. Dr. Messias Borges Silva 1. Automóveis – pintura 2. Planejamento experimental I. Título CDU 67.01
-------	--



Universidade Estadual Paulista
Campus de Guaratinguetá
Faculdade de Engenharia

UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE PLANEJAMENTO DE EXPERIMENTOS NA
ANÁLISE DE VIABILIDADE DE ALTERAÇÕES NO PROCESSO DE PINTURA
DE GRADES ANTRACITE EM UMA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA

Amanda Trombini

Este trabalho foi julgado adequado para a obtenção do título de
Graduado em Engenharia de Produção Mecânica

Aprovado em sua forma final pelo conselho de curso de graduação

Prof. Dr. Valério A. P. Salomon
Sub-coordenador
No Exercício da coordenação

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Messias Borges Silva
FEG/UNESP (Orientador)

Prof. Dr. Marcela A. G. Machado de Freitas
FEG/UNESP

Prof. Ricardo Penteado Batista
FEG/UNESP

Novembro de 2011

DADOS CURRICULARES

AMANDA TROMBINI

NASCIMENTO	31.10.1989 – MOGI GUAÇU / SP
FILIAÇÃO	Benedito Trombini Benedita de Paiva Trombini
2007/2011	Engenharia de Produção Mecânica Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá da Universidade Estadual Paulista.

Dedico esse trabalho à minha família: aos meus pais Benedito e Benê e ao meu irmão Lucas que são meu porto seguro, que me ensinaram os reais valores da vida, aqueles que me orientam, me incentivam para atingir meus objetivos e torcem por mim, aos quais sou eternamente grata pelo amor, dedicação e apoio constantes; e de modo especial, ao meu namorado Dario, pelo companheirismo, compreensão e doação, por estar sempre ao meu lado, me incentivando e acreditando em mim.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, fonte da vida e da graça, por ter me abençoado nesta caminhada. Agradeço pela minha vida, minha saúde, minha inteligência, minha determinação, minha família, meu namorado e meus amigos;

aos meus pais e meu irmão, pelo amor, criação, orientação que me foram dadas e pelos ensinamentos valiosos em relação à vida, valores, ideais e, principalmente, estudos que propiciou esta realização;

ao meu namorado, pelo incentivo, carinho, compreensão e apoio em todos os momentos;

ao meu orientador *Prof. Dr. Messias Borges Silva*, pelo incentivo, direcionamento e auxílio durante as etapas deste trabalho;

ao meu coordenador de estágio *Marcus Lima* e, ao *Julio Togni*, que foram pessoas extremamente especiais, que me ofereceram propostas de trabalhos desafiadores e me deram apoio e incentivo durante este ano de estágio e para o desenvolvimento deste trabalho;

à dona *Luiza Broca Noce* e sua filha *Patrícia Broca Noce*, que me acolheram com tanto carinho como membro de sua família e compartilharam comigo momentos diversos e únicos durante os últimos quatro anos;

aos meus amigos, *Danilo Teixeira*, *Juliana Harumi* e *Leandro Ragazzi*, pelos ótimos momentos compartilhados, pelo companheirismo e bom humor nesses cinco anos;

aos meus colegas de trabalho *Carolina Freitas Espindola*, *Osmar Anselmo Faria* e *Gilmar Souza*, pela amizade, paciência e por me acolherem e fornecerem dados e informações relacionadas ao trabalho, sempre que necessário;

à empresa *General Motors* e a todos os seus colaboradores que tiveram relação direta ou indireta para a execução deste trabalho nesse ano de estágio;

e a todas as pessoas que não foram mencionadas acima, mas que contribuíram direta ou indiretamente para o desenvolvimento deste trabalho e na minha vida.

"Não devemos ter medo dos confrontos. Até os
planetas se chocam e do caos nascem as estrelas"

Charles Chaplin

TROMBINI, A. Utilização de Técnicas de Planejamento de Experimentos na Análise de Viabilidade de Alterações no Processo de Pintura de Grades Antracite em uma Indústria Automotiva. 2011. 93 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia de Produção Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

RESUMO

A busca por melhores desempenhos e vantagem competitiva no atual cenário de mercado tem feito com que as organizações se preocupem cada vez mais com o planejamento da qualidade e com a utilização de técnicas eficazes voltadas para melhoria contínua e otimização de processos e recursos. A situação não é diferente para o processo de pintura na indústria do setor automotivo, o qual possui uma quantidade significativa de variáveis e fatores externos influentes. Este trabalho, realizado na General Motors de São José dos Campos, visa analisar a viabilidade de mudança do processo de pintura de grades da picape S10 de cor Antracite localizado em uma linha principal para outra linha de pintura situada na Cabine de Reparos da fábrica e, com isso, estudar a possibilidade de redução da janela de cura para o esmalte Antracite por meio de técnicas de Planejamento de Experimentos. Com a aplicação deste método foi possível obter o melhor arranjo entre os fatores estudados para a Cabine de Reparos, que no caso são, a Temperatura, em graus Celsius e, o Passo do Skid, em segundos, além de obter o comportamento desses fatores em função de requisitos de qualidade exigidos pelas normas de especificação da GM para o Brilho e Aderência da tinta na peça. Como resultados, pode-se concluir que é possível realizar a pintura das grades S10 Antracite na linha da Cabine de Reparos, além de que, com a nova configuração obtida pelo Planejamento de Experimentos para as variáveis do processo, têm-se ganhos significativos relativos à qualidade das peças, redução de custos e otimização da capacidade de produção, tanto na linha principal como na linha da Cabine de Reparos.

PALAVRAS-CHAVE: Melhoria Contínua. Processo de Pintura Automotiva. Grades S10 Antracite. Cabine de Reparos. Planejamento de Experimentos. Qualidade.

TROMBINI, A. Use of Design of Experiments' Technique in Feasibility Analysis of Changes in the Painting Process of Antracite's Plastic Parts in an Automotive Industry. 2011. 93 f. Graduation Dissertation (Degree in Production Engineering) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

ABSTRACT

The search for better performance and competitive advantage in the current market scenario has made organizations keep their focus on quality planning and the use of effective techniques aimed at continuous improvement and optimization of processes and resources. The situation is not different for the painting process in the automotive industry, which has a significant amount of variables and influential external factors. This work, developed at General Motors in São José dos Campos, aims to analyze the feasibility of changing the painting process of the pickup S10 railings in the Antracite color located in the main line to the another line located in a Painting Repair Booth at the plant and, therefore, to study the possibility about reducing the window of cure for Antracite's enamel by using Design of Experiments' techniques. Applying this method is possible to find the best arrangement among studied factors of Painting Repair Booth that are, in this case, the Temperature, in Celsius degrees, and Skid's Steps, in seconds, and it's also possible to get their behavior according to quality requirements specified by GM rules for the Brightness and Paint Adhesion on the part. As a result, it can conclude that is possible to paint the S10 Antracite railings in the painting process' line of Painting Repair Booth, and with the new configuration obtained by the Design of Experiments for the process variables, there are significant gains related to the parts' quality, costs reduction and the optimization of production capacity, much in the main line as in the line of the Painting Repair Booth.

KEY WORDS: Continuous Improvement. Automotive Painting Process. S10 Antracite's Railings. Painting Repair Booth. Design of Experiments. Quality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Modelo Geral de um Processo ou Sistema.....	21
Figura 2 – Combinações possíveis para o experimento do tipo 2^2 Fatorial.....	23
Figura 3 – Experimento 2^2 Fatorial, exemplo fictício.....	24
Figura 4 – Exemplo de representação gráfica para o efeito de um fator.....	25
Figura 5 – Exemplo de representação gráfica para o efeito da interação entre dois fatores.....	26
Figura 6 – Exemplo de um experimento 2^2 fatorial com pontos centrais.....	27
Figura 7 – Datapaq.....	35
Figura 8 – Gráfico do comportamento térmico da peça dentro da estufa coletado com o auxílio do Datapaq e gerado pelo <i>software</i>	36
Figura 9 – Maleta e suporte para o Datapaq.....	36
Figura 10 – Representação do <i>Memory Paq</i> sendo conectado ao Transdutor e Interface com o computador.....	37
Figura 11 – Ferramentas utilizadas no Teste de Aderência.....	37
Figura 12 – Ferramentas de corte e uma demonstração do quadriculado (a) e o risco quadriculado realizado com a unha de gato na peça (b)	38
Figura 13 – Fita adesiva colada na região do corte transversal.....	38
Figura 14 – Arrancamento da fita adesiva da peça.....	39
Figura 15 – Classificação em relação ao grau de deslocamento de tinta utilizado pela GM.....	40
Figura 16 – Equipamento <i>Micro TRI-Gloss</i> do fornecedor BYK (a) e exemplo de medição de brilho com o <i>TRI-Gloss</i> em um pára-choque (b).....	41
Figura 17 – Botão “ <i>Operate</i> ” (a) e resultado apresentado pelo equipamento (b).....	41
Figura 18 – Consumo de plásticos leves pela maioria das indústrias automotivas norte- americanas no ano 2000.....	43
Figura 19 – Localização geográfica das fábricas da GM no Brasil.....	45
Figura 20 – Layout do Complexo Automotivo da GM em São José dos Campos, destacando- se a Fábrica de Componentes Plásticos.....	47
Figura 21 – Layout da área de injeção de componentes plásticos.....	48
Figura 22 – Percentual de produção por clientes para o ano de 2011.....	49
Figura 23 – Layout da área de pintura de componentes plásticos.....	50
Figura 24 – Skid (lado esquerdo) e berços sendo lavados (lado direito).....	50

Figura 25 – Janela de cura recomendada pelo fornecedor para todas as tintas utilizadas na Fábrica de Componentes.....	52
Figura 26 – Fluxograma das etapas a serem executadas neste estudo.....	56
Figura 27 – Linha de pintura da Cabine de Reparos.....	57
Figura 28 – Estufa de tinta da Cabine de Reparos.....	58
Figura 29 – Processo de flambagem das peças por robôs.....	59
Figura 30 – Grade S10 pintada de esmalte Antracite.....	60
Figura 31 – Sistemas Monocamada (a), Dupla Camada (b) e Tripla Camada (c)	60
Figura 32 – Sistema Monocamada de aplicação do Antracite.....	61
Figura 33 – Matriz de Experimentos.....	61
Figura 34 – Níveis alto e baixo e ponto central para a variável Temperatura (a) e Passo do skid (b)	62
Figura 35 – Suporte para o Datapaq (a) e o <i>Memory Paq e Thermal Barrier</i> (Termopares) do Datapaq (b)	62
Figura 36 – Gráfico gerado pelo software do Datapaq representando o comportamento térmico da peça desde o momento de entrada na estufa até o momento de saída.....	63
Figura 37 – Grade da S10 com destaque para região onde são tiradas duas medidas de brilho.....	64
Figura 38 – Grade da S10 com destaque para os pontos onde é realizado o teste de aderência.....	65
Figura 39 – Matriz de Experimentos contendo os resultados dos experimentos.....	66
Figura 40 – Gráfico de Pareto apresentando os fatores mais influentes na variável resposta Brilho.....	70
Figura 41 – Efeito do fator Temperatura da estufa sobre o Brilho.....	70
Figura 42 – Efeito do fator Passo do Skid sobre o Brilho.....	71
Figura 43 – Gráfico do comportamento da Temperatura e do Passo do Skid em relação ao Brilho.....	72
Figura 44 – Gráfico de contorno para o comportamento da Temperatura e do Passo do Skid em relação ao Brilho.....	72
Figura 45 – Gráfico de Pareto apresentando os fatores mais influentes na variável resposta Tempo de Secagem.....	73
Figura 46 – Efeito do fator Temperatura da estufa sobre o Tempo de Secagem.....	74
Figura 47 – Efeito do fator Passo do Skid sobre o Tempo de Secagem.....	74

Figura 48 – Gráfico do comportamento da Temperatura e do Passo do Skid em relação ao Tempo de Secagem.....	75
Figura 49 – Gráfico de contorno para o comportamento da Temperatura e do Passo do Skid em relação ao Tempo de Secagem.....	76
Figura 50 – Gráfico do Tempo versus Temperatura adquirida pela peça dentro da estufa de tintas da Cabine de Reparos.....	77
Figura 51 – Gráfico de DSC da corrida dinâmica de 30 a 150 °C para a amostra de Antracite e Catalisador.....	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Propriedades do ABS.....	23
Tabela 2 – Exemplo de Matriz de Planejamento.....	24
Tabela 3 – Matriz de experimentos com respostas.....	29
Tabela 4 – Exemplo de estrutura de Tabela ANOVA.....	30
Tabela 5 – Valor da constante d_2	44
Tabela 6 – Medidas de brilho coletadas pelos Operadores 1 e 2 para os modelos listados.....	66
Tabela 7 – Cálculo das médias e amplitudes dos valores de brilho para cada operador.....	67
Tabela 8 – Valores calculados a partir da tabela 7.....	67
Tabela 9 – ANOVA para a média da variável resposta Brilho.....	69
Tabela 10 – ANOVA para a média da variável resposta Tempo de Secagem.....	73

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Objetivos.....	17
1.2	Justificativa	18
1.3	Limitações	18
1.4	Estrutura do Trabalho	19
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	20
2.1	Planejamento de Experimentos.....	32
2.1.1	Planejamento 2² Fatorial com Ponto Central	22
2.2	Análise de Variância (ANOVA)	27
2.3	Repetitividade e Reprodutibilidade (R&R)	29
2.4	A Importância da Qualidade no Processo de Pintura na Indústria Automotiva	32
2.5	Testes e ferramentas utilizados na qualidade do processo de pintura automotiva .	34
2.5.1	Datapaq	35
2.5.2	Teste de Aderência	37
2.5.3	Teste de Brilho	40
2.6	Componentes Plásticos na Indústria Automotiva.....	42
3	A EMPRESA.....	45
3.1	Fábrica de Componentes Plásticos.....	48
3.2	Processo de Pintura	50
4	MÉTODOS.....	54
4.1	Oportunidade	54
4.2	Descrição do Trabalho	55
4.3	Cabine de Reparos.....	57
4.4	Peculiaridades da grade S10 de cor Antracite	58
4.4.1	Flambagem	58
4.4.2	Secagem	59
4.4.3	Aplicação do Antracite no substrato.....	60
4.5	Aplicação das Técnicas de Planejamento de Experimentos	61
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	66
5.1	Variável resposta Brilho	69
5.2	Variável resposta Tempo de Secagem	73

6	CONCLUSÃO.....	79
6.1	Sugestões para Trabalhos Futuros.....	79
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81
	APÊNDICE A – Gráficos gerados pelo Datapaq para todos os experimentos	86

1 INTRODUÇÃO

A globalização da economia gerou um novo cenário que obrigou as empresas a desenvolverem novas estratégias de atuação. Com a expansão de mercados, surgiu uma nova lógica da localização industrial, a qual tem provocado a descontinuidade geográfica e a descentralização industrial (PEINADO; GRAEML, 2007).

Para Chiavenato (2004), as organizações globais e as empresas internacionais devem possuir negócios e conhecimento sem fronteiras para se manterem atuantes no mercado. Hoje, o capital intelectual é um recurso mais importante do que o capital financeiro.

Atualmente, a tecnologia e sua constante inovação também são uma forma da organização adquirir vantagem competitiva e se assegurar no mercado. A tecnologia garante vantagem competitiva para uma empresa quando a mesma obtém resultados melhores que suas concorrentes ou quando apresenta diferenças em relação aos concorrentes naquilo que oferece (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2002).

As empresas inseridas nesse contexto ainda se deparam com clientes cada vez mais exigentes, que procuram produtos e serviços de alto nível, o que torna necessário um forte investimento em qualidade (BRITO; DACOL, 2008). Para Peinado e Graeml (2007), o gerenciamento da qualidade perdeu o papel de diferencial competitivo e se tornou um requisito obrigatório para a sobrevivência da empresa no mercado.

Segundo Juran (2004), o planejamento da qualidade é de grande importância para uma organização. Com a perda de liderança em qualidade, a empresa pode sofrer com a perda de participação de mercado; surgimento de vários tipos de falhas nos processos envolvidos na operação de bens e serviços, podendo acarretar em pequenos custos e aborrecimentos; além de uma forte presença de desperdícios ligados à qualidade e que levam a custos excessivos.

Para as indústrias do setor industrial automotivo a situação não é diferente. Em busca de melhor desempenho e competitividade, as organizações têm reavaliado alguns conceitos e estratégias, como por exemplo, de Manufatura Enxuta, Seis Sigma, Gestão do Conhecimento (MUNIZ, 2007). A Gestão da Qualidade e o Controle Estatístico de Processo (CEP) também têm contribuído para a melhoria contínua de processos dentro das organizações, de modo a atingir a excelência produtiva, com menos problemas e menores custos de produção (THOZO, 2008).

Uma técnica útil é o Planejamento de Experimentos (em inglês, *Design of Experiments* – DOE), o qual é amplamente utilizado para a obtenção de informações sobre um determinado processo ou sistema. Pode ser aplicado, dentro da indústria, no desenvolvimento de um novo

produto, no desenvolvimento de processos de manufatura e na melhoria de processos, visando o desenvolvimento de processos robustos. Dessa forma, o uso do planejamento experimental nessas áreas pode resultar em produtos mais fáceis de fabricar, em produtos que tenham maior desempenho em campo e confiabilidade, na redução de custo do produto e um menor tempo de projeto e desenvolvimento do produto (MONTGOMERY, 2001).

Este trabalho apresentará a aplicação de técnicas de Planejamento Experimental, mais especificamente, Planejamento Fatorial do tipo 2^2 com um Ponto Central, no processo de pintura de componentes plásticos da Fábrica de Componentes Plásticos da General Motors (GM) de São José dos Campos.

1.1 Objetivos

O presente trabalho visa utilizar técnicas de Planejamento Experimental, como o Planejamento 2^k Fatorial com Ponto Central e a Metodologia de Superfície de Respostas, para avaliar a viabilidade de transferência do processo de pintura de grades ABS do modelo S10 pintadas com o esmalte poliuretano Antracite de uma linha principal para uma linha de produção no piso inferior que se encontra com tempo ocioso sendo utilizada somente para o retrabalho de alguns componentes plásticos.

Este objetivo principal desdobra-se nos seguintes objetivos específicos:

- Análise e entendimento do processo de pintura na linha principal e na linha de pintura do piso inferior;
- Identificação dos fatores (variáveis de entrada) e respostas (variáveis de saída) para aplicação do Planejamento Experimental;
- Realização do delineamento do experimento;
- Elaboração da Matriz de Experimentos e realização do experimento com as grades de cor Antracite na linha de pintura do piso inferior;
- Obtenção de uma liberação para a realização de um teste-piloto com o resultado obtido através do Planejamento Experimental;
- Análise de viabilidade da alteração no processo, assim como, os possíveis ganhos;
- Otimização da capacidade produtiva na linha principal de pintura e na linha do piso inferior (Cabine de Reparos);
- Envio de peças-teste para a avaliação do fornecedor de tintas de modo a obter uma oficialização da alteração proposta.

1.2 Justificativa

Observou-se grande oportunidade de melhoria em relação à tinta Antracite, que por ser um esmalte, apresenta propriedades que garantem um tempo de secagem inferior ao das demais tintas. No entanto, o fornecedor de tintas especificava que a janela de cura para o Antracite fosse idêntica a das demais tintas, embora testes práticos já tivessem demonstrado a possibilidade de reduzi-la. Além disso, estas peças passam pela mesma linha principal de pintura independente da cor ou das condições químicas da tinta. Com isso, o tempo de permanência da peça dentro da estufa de tinta da linha principal é limitado pela necessidade de secagem da tinta mais crítica.

Também se deve considerar o fato da grade do modelo S10 ser um polímero do tipo ABS, o qual não requer a etapa de flambagem da peça antes da aplicação de tinta. Assim, as grades Antracite não necessitam de todas as etapas do processo de pintura na linha principal (flambagem) e, também, permanecem na estufa de tinta por um tempo além do necessário para secagem do esmalte, causando uma perda da taxa de produção e, gerando o risco de ocorrer um empenamento da peça ou perda de brilho da mesma devido à possível queima excessiva da tinta, o que é denominado de *overbaking*.

Com base no contexto apresentado, viu-se a oportunidade de melhoria do processo e a ferramenta considerada mais adequada para auxiliar neste trabalho foi a técnica de Planejamento Experimental. Portanto, foram realizados testes com mudanças propositalmente em variáveis de entrada pré-definidas do processo e, assim, as razões dessas alterações foram observadas nas variáveis resposta (MONTGOMERY, 2001).

1.3 Limitações

Este trabalho se deu em um segundo momento, após a alteração de um primeiro pré-projeto definido. A idéia inicial seria abordar os problemas relacionados ao surgimento de sujidades nos pára-choques pintados na linha principal de pintura (piso superior), envolvida nesse trabalho, através de um método de Seis Sigma de otimização denominado DMAIC. No entanto, uma das etapas desse projeto inicial seria inviabilizada devido aos riscos que apresentava para o processo de pintura e para sua continuidade.

Dessa forma, houve a necessidade da reelaboração de um segundo pré-projeto e de outro cronograma, considerando a nova situação com um intervalo de tempo menor.

Outro fator que gerou certo atraso no cronograma do presente trabalho foram problemas de manutenção da estufa de tinta da linha de pintura do piso inferior, levando um tempo razoável para serem solucionados.

1.4 Estrutura do Trabalho

Este trabalho consiste em 6 Capítulos. O Capítulo 2 será dedicado à Fundamentação Teórica, abordando conceitos de qualidade do processo de pintura, de Planejamento Experimental, tais como o Planejamento 2^k Fatorial com Ponto Central, Análise de Variância (ANOVA), ferramentas utilizadas para inspeção de qualidade de pintura, além disso, o mesmo capítulo abordará conceitos de Repetitividade e Reprodutibilidade (R&R).

No Capítulo 3 é realizada uma breve apresentação sobre a empresa na qual este trabalho foi desenvolvido, além de uma apresentação sobre o processo de pintura nas linhas principal e na linha do piso inferior.

Em seguida, o Capítulo 4 mostra os métodos utilizados e as etapas do Planejamento Experimental, tais como o delineamento experimental, a definição das variáveis de controle e respostas e a apresentação da estrutura da matriz experimental.

Já o Capítulo 5 aborda a apresentação da matriz experimental com os experimentos já realizados, além da análise dos resultados por meio de gráficos de Análise de Variância (ANOVA), efeitos dos fatores e gráficos de contorno. Ainda nesse capítulo são apresentados os ganhos embasados na implementação do projeto realizada na fábrica da empresa com os resultados obtidos através do presente trabalho para as variáveis de controle. Por último, no Capítulo 6 estão contidas as considerações finais para o trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O objetivo deste capítulo é contextualizar o leitor sobre a questão da qualidade nas indústrias automotivas ressaltando o processo de pintura, além de apresentar os principais conceitos dos métodos utilizados no trabalho, tais como, o de Planejamento Experimental, ANOVA e Repetitividade & Reprodutibilidade.

2.1 Planejamento de Experimentos

Normalmente, as pessoas se lembram da Estatística quando se deparam com situações que envolvem grandes quantidades de informação. No entanto, ao contrário do que muitos pensam, “a atividade estatística mais importante não é a análise de dados, e sim o planejamento dos experimentos em que esses dados devem ser obtidos” (NETO; SCARMINIO; BRUNS, 1995, p.17).

A história do Planejamento de Experimentos se inicia na Inglaterra, na década de 1920, na Estação de Pesquisa em Agricultura situada próxima a Londres, por meio dos trabalhos pioneiros desenvolvidos por Ronald A. Fisher envolvendo análise estatística e de dados. Fisher, interagindo com pesquisadores e cientistas de outras áreas, desenvolveu os três princípios básicos de planejamento experimental: randomização, replicação e blocagem. Na década seguinte, os conceitos de aplicação do planejamento estatístico começaram a se difundir nas indústrias (MONTGOMERY, 2001).

Um experimento pode ser definido como um teste ou uma série de testes com o intuito de compreender o funcionamento de sistemas e processos (Figura 14). Para tanto, o experimentador faz alterações propositalmente em variáveis controláveis de um processo ou sistema e observam o impacto dessas mudanças nas variáveis de saída e, com isso, fazem inferências sobre quais variáveis são responsáveis pelas mudanças observadas no desempenho das respostas (MONTGOMERY; RUNGER, 2011).

Segundo Montgomery (2001), os objetivos do experimento incluem:

- Determinar quais os fatores que mais influenciam nas variáveis de saída de um processo;
- Determinar os valores que as variáveis de entrada do processo devem possuir para que as variáveis de saída (respostas) tenham valores quase sempre próximos dos valores nominais desejados;

- Determinar valores para os fatores controláveis (variáveis de entrada) do processo de modo que a variabilidade das respostas seja mínima;
- Determinar valores para as variáveis de entrada do processo com o intuito de minimizar os efeitos das variáveis de saída.

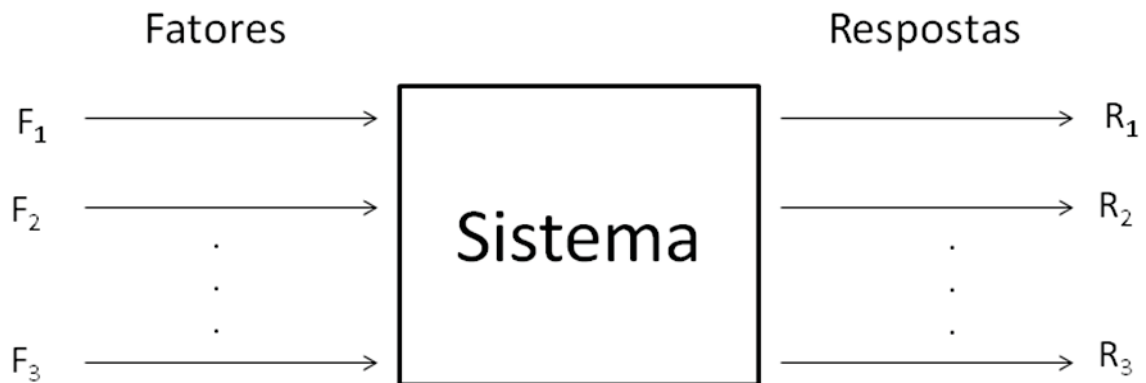


Figura 1 – Modelo Geral de um Processo ou Sistema (NETO; SCARMINIO; BRUNS, 1995)

Calegare (2001) ainda acrescenta que o experimento também serve para “determinar os valores ótimos dos fatores controláveis do processo, para torná-lo mais econômico ou para melhorar as características tecnológicas do produto resultante” (CALEGARE, 2001, p.28).

Para Montgomery (2001) é fundamental que todas as pessoas envolvidas no experimento saibam exatamente o que será estudado, como os dados serão coletados e tenham, pelo menos, uma noção qualitativa de como esses dados serão analisados.

O procedimento experimental pode ser dividido em algumas etapas. A primeira delas trata-se do delineamento do experimento que aborda a definição e a análise do problema, o desenvolvimento de todas as idéias relacionadas ao objetivo do experimento, por isso, é importante haver um envolvimento de todas as áreas interessadas. Também se inclui nessa fase, a determinação dos fatores e dos seus níveis; a determinação da variável resposta; e a escolha do tipo de delineamento do experimento (de acordo com o número de réplicas e corridas, por exemplo). A etapa seguinte consiste na realização do experimento conforme o planejado e o treinamento adequado do pessoal para que a execução seja correta (CALEGARE, 2001; MONTGOMERY, 2001). Nesta etapa, para Montgomery¹ (2001 apud

¹ MONTGOMERY, D. C. **Design and Analysis of Experiments**. New York: John Wiley & Sons, 2001 apud COLEMAN, D. E.; MONTGOMERY, D. C. A Systematic Approach to Planning for a Designed Industrial Experiment (with Discussion). *Technometrics*, v.35, p.1-27, 1993.

COLEMAN; MONTGOMERY, 1993), é interessante realizar corridas piloto antes de realizar o experimento, já que pode obter informações sobre a consistência do material experimental, uma verificação do sistema de medição utilizado, uma idéia aproximada sobre possíveis erros experimentais e a possibilidade de praticar a técnica experimental.

Em seguida, inicia-se a fase de análise dos resultados obtidos por meio da análise estatística dos dados. Por último, o experimentador realiza as conclusões práticas dos resultados obtidos e faz recomendações de possíveis ações. Neste estágio de apresentação de resultados é muito útil fazer o uso de recursos gráficos. Vale ressaltar que a experimentação é iterativa, já que ao longo do progresso do projeto experimental algumas modificações podem ser realizadas, conforme novas hipóteses vão sendo formuladas (MONTGOMERY, 2001). Segundo os princípios da Gestão pela Qualidade Total, as fases do experimento devem seguir as quatro etapas do Ciclo PDCA (do inglês, *Plan, Do, Check e Act*) (CALEGARE, 2001).

De acordo com a primeira etapa citada anteriormente, um dos passos abordados é o delineamento de experimentos. Os tipos mais usuais são: Experimentos com um Único Fator, Experimentos Fatoriais (com dois ou mais fatores), Experimentos Fatoriais com Blocagem, Experimentos 2^k Fatorial, Experimentos 2^k Fatorial com Blocagem e Confundimento, Experimentos Fatoriais Fracionários, Quadrado Latino, entre outros.

2.1.1 Planejamento 2^2 Fatorial com Ponto Central

“O Experimento Fatorial é apropriado quando dois ou mais fatores estão sendo investigados em dois ou mais níveis e a interação entre os fatores pode ser importante” (CALEGARE, 2001). Quando os fatores são dispostos em um planejamento fatorial diz-se que estão sendo cruzados, já que a execução dos experimentos ocorre para todas as possíveis combinações dos níveis dos fatores (MONTGOMERY, 2001; NETO; SCARMINIO; BRUNS, 1995).

Um Planejamento Fatorial do tipo 2^2 significa que existem 2 fatores cada um deles com 2 níveis: um baixo que pode ser representado por “-” e um alto representado por “+”. Para este tipo de processo experimental, realizam-se os testes de todas as combinações da matriz experimental e, com isso, determinam-se os efeitos principais e de interações dos fatores em questão (HENDLER; VACCARO, 2007). Como são 2 fatores com 2 níveis cada para experimentação, deverão ser realizados 4 experimentos, como pode ser observado na Tabela

1, em que os fatores foram chamados de A e B. Vale ressaltar que cada um desses experimentos é denominado um ensaio experimental.

Tabela 1 – Exemplo de Matriz de Planejamento (Fonte própria)

Experimento	Fatores		Resposta
	A	B	
1	-	-	
2	-	+	
3	+	-	
4	+	+	

O efeito principal de um fator mostra o quanto o aumento do nível de um fator de baixo para alto influencia na resposta. É calculado, por definição, como a diferença entre a média da resposta para o nível baixo de um fator e a média da resposta para um nível alto desse mesmo fator (MONTGOMERY, 2001). A Figura 2 apresenta graficamente os efeitos de um Experimento 2^2 Fatorial representado, graficamente, como um quadrado formado pelos quatro ensaios (vértices).

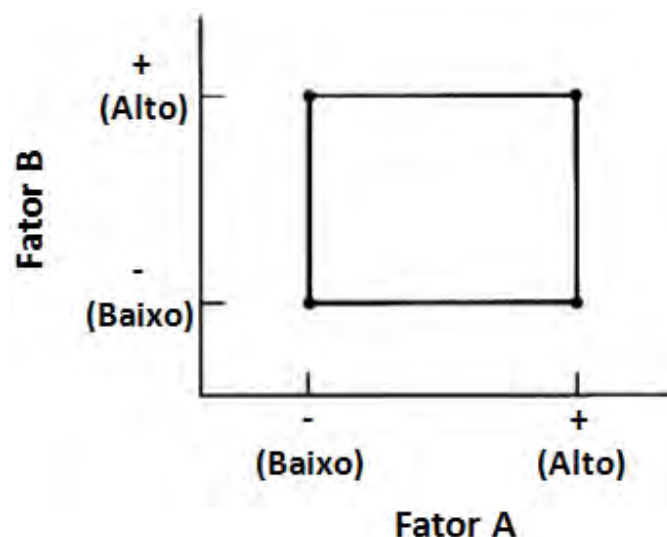


Figura 2 – Combinações possíveis para o experimento do tipo 2^2 Fatorial (Montgomery, 2001)

Segundo Box, Hunter e Hunter (1978), o efeito principal para cada uma das variáveis é a diferença entre duas médias, como pode ser observado na equação (1), em que $\bar{y}_+$ é a média da resposta para o nível alto da variável e $\bar{y}_-$ é a média da resposta para o nível baixo.

$$\text{Efeito Principal} = \bar{y}_+ - \bar{y}_- \quad (1)$$

Além disso, quando as variáveis não são independentes entre si, se diz que as variáveis “interagem”. Levando-se em consideração as variáveis A e B da Tabela 2, a medida da interação é obtida pela diferença através da diferença média entre o efeito de A a um nível alto de B e o efeito de A a um nível baixo de B (MONTGOMERY, 2001).

Supondo respostas fictícias para duas variáveis quaisquer denominadas A e B, apresentadas na Tabela 2 e Figura 3, os efeitos e a interação entre elas foram calculados.

Tabela 2 – Matriz de experimentos com respostas (Adaptado de Montgomery, 2001)

Fatores		Combinação dos Tratamentos	Resposta
A	B		
-	-	A baixo, B baixo	80
+	-	A alto, B baixo	100
-	+	A baixo, B alto	60
+	+	A alto, B alto	90

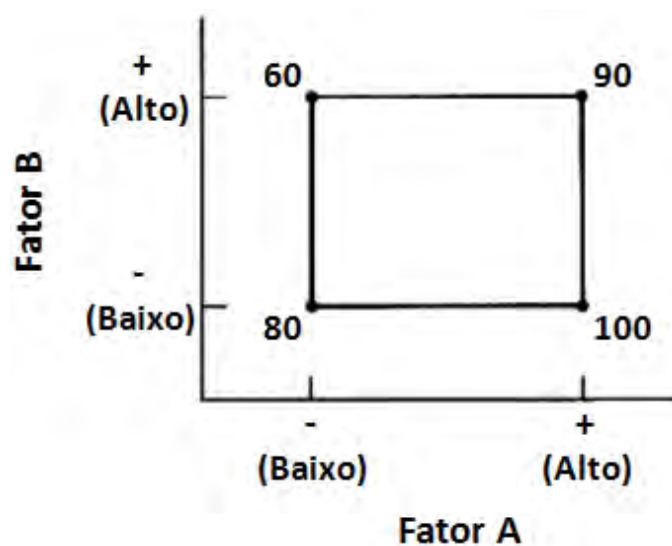


Figura 3 – Experimento 2² Fatorial, exemplo fictício (Adaptado de Montgomery, 2001)

Assim, os efeitos principais de A e B, equações (2) e (3) e a interação AB, equação (4) são:

$$A = \bar{y}_{A+} - \bar{y}_{A-} = \frac{(100 + 90)}{2} - \frac{(80 + 60)}{2} = 25 \quad (2)$$

$$B = \bar{y}_{B+} - \bar{y}_{B-} = \frac{(60 + 90)}{2} - \frac{(80 + 100)}{2} = -15 \quad (3)$$

$$AB = \frac{(80 + 90)}{2} - \frac{(100 + 60)}{2} = 5 \quad (4)$$

Com isso, pode-se concluir que o efeito da variável A na variável resposta é positivo, ou seja, um aumento da variável A, de um nível baixo para um nível alto, causará um aumento na variável resposta. Já a variável B, como possui um efeito negativo, sugere que um aumento da variável B de um nível baixo para um nível alto acarretará a diminuição da variável resposta. O efeito da interação é menor do que os dois efeitos principais.

Graficamente, o efeito e a interação entre dois efeitos se apresentam por meio de curvas demonstradas nas Figuras 4 e 5, a fim de exemplo.

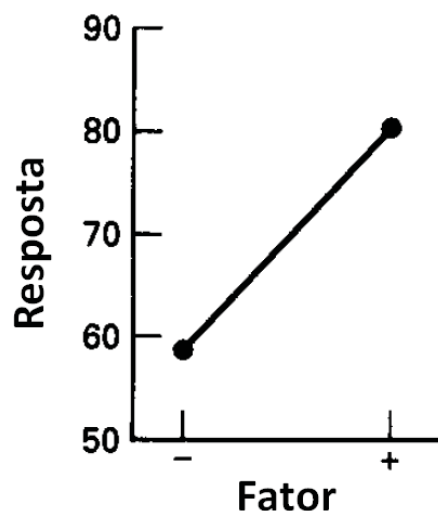


Figura 4 – Exemplo de representação gráfica para o efeito de um fator (Adaptado de Montgomery, 2001)

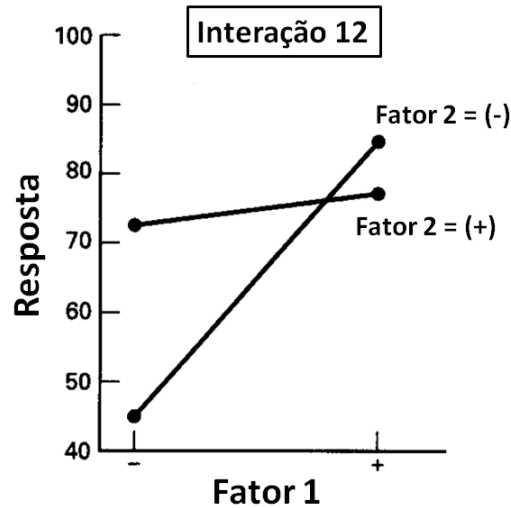


Figura 5 – Exemplo de representação gráfica para o efeito da interação entre dois fatores (Adaptado de Montgomery, 2001)

Uma grande preocupação existente em relação ao uso do experimento 2^2 fatorial é assumir a linearidade dos efeitos dos fatores. Certamente, uma linearidade perfeita é desnecessária e o sistema 2^2 fatorial pode funcionar bem mesmo quando a suposição de linearidade não é totalmente respeitada. De fato, quando termos de interação são adicionados nos efeitos principais ou modelos de primeira-ordem resulta-se a equação (5), em que o modelo é capaz de representar alguma curvatura na função resposta. No entanto, existem situações em que a curvatura da função resposta não é modelada adequadamente por meio da equação (5), sendo que nesses casos, a equação (6), denominada modelo de segunda-ordem da superfície de resposta, deve ser utilizada.

$$y = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_j + \sum_{i < j} \sum \beta_{ij} x_i x_j + \epsilon \quad (5)$$

$$y = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_j + \sum_{i < j} \sum \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{j=1}^k \beta_{jj} x_j^2 + \epsilon \quad (6)$$

Ao utilizar o experimento 2^k fatorial, é comum tentar mantê-lo no modelo de primeira-ordem apresentado na equação (5), porém, existe a possibilidade da equação (6) ser a mais adequada. Assim, existe um método de replicação de certos pontos no experimento 2^k fatorial

que oferece uma proteção contra curvaturas de efeitos de segunda-ordem , além de permitir uma estimativa independente do erro a ser gerado. Esse método consiste na adição de pontos centrais no experimento, assim como, réplicas nesses mesmos pontos, já que os pontos centrais não afetam a estimativa usual dos efeitos do experimento. Além disso, quando pontos centrais são adicionados, considera-se que os 2 fatores de um experimento 2^2 fatorial, por exemplo, são quantitativos. A Figura 6 ilustra um experimento 2^2 fatorial com n_c observações no ponto central (MONTGOMERY, 2001).

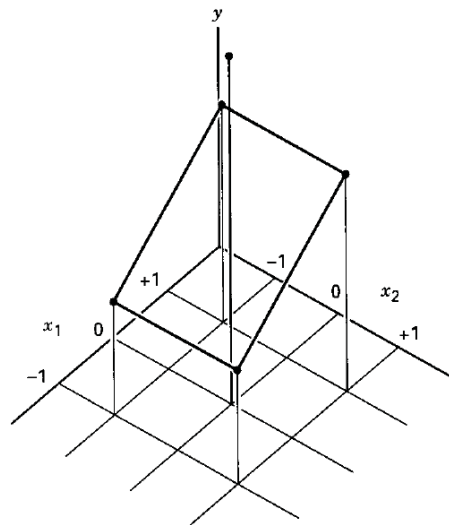


Figura 6 – Exemplo de um experimento 2^2 fatorial com pontos centrais (Montgomery, 2001)

2.2 Análise de Variância (ANOVA)

A análise de variância é um teste utilizado para verificar se existe diferença entre os tratamentos realizados. Para o caso do Planejamento de Experimentos (DOE), esse método é utilizado para verificar a significância das variáveis experimentadas. Para tanto, aplica-se o teste “F”, da distribuição “F” de Snedecor, com o intuito de comparar a variância obtida “dentro” dos tratamentos com a variância obtida “entre” os tratamentos (CALEGARE, 2001; PIMENTA et. al., 2008, p.139).

Algebricamente, a soma dos quadrados (em inglês, *sum of squares* – S_t) “dentro” dos tratamentos é dada pela equação (7) e a média quadrática (em inglês, *mean square* – S_R^2) pode ser calculada por meio da equação (8).

$$S_t = \sum_{i=1}^{n_t} (y_{ti} - \bar{y}_t)^2 \quad (7)$$

$$S_R^2 = \frac{S_R}{N - k} = \sum_{t=1}^k \sum_{i=1}^{n_t} \frac{(y_{ti} - \bar{y}_t)^2}{N - k} \quad (8)$$

Sendo que y_{ti} representa a i -ésima observação no t -ésimo tratamento. Para esse caso, os graus de liberdade (v_t) para os t -ésimos tratamentos são dados pela equação (9).

$$v_t = n_t - 1 \quad (9)$$

Em relação à variação entre os tratamentos, a soma dos quadrados (S_T) se encontra na equação (10) e a média quadrática (S_T^2), na equação (11). Os graus de liberdade (v_t) são dados pela equação (12) (BOX; HUNTER; HUNTER, 1978).

$$S_T = \sum_{t=1}^k n_t (\bar{y}_t - \bar{y})^2 \quad (10)$$

$$S_T^2 = \frac{\sum_{t=1}^k n_t (\bar{y}_t - \bar{y})^2}{k - 1} \quad (11)$$

$$v_t = k - 1 \quad (12)$$

Assim, a tabela da ANOVA pode ser construída e apresenta a estrutura demonstrada na Tabela 3.

Tabela 3 – Exemplo de estrutura de Tabela ANOVA (Adaptada de Oishi, 2010, p.75; Penteado, 2011, p.87)

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Média Quadrática	F ₀
A	S _A	v _A	S _A ²	F ₀ = S _A ² / S _E ²
B	S _B	v _B	S _B ²	F ₀ = S _B ² / S _E ²
AB	S _{AB}	v _{AB}	S _{AB} ²	F ₀ = S _{AB} ² / S _E ²
Erro	S _E	v _E	S _E ²	
Total	S _T	v _T		

2.3 Repetitividade e Reprodutibilidade (R&R)

Os sistemas de medição nem sempre produzem somente resultados corretos que coincidem com o valor verdadeiro da grandeza medida, porque assim como todo processo, são produzidos resultados com erros ou graus de incerteza. Isso ocorre porque, durante a medição, existe uma variabilidade real da característica mensurada que está diretamente ligada ao processo produtivo, o qual sofre influência de causas aleatórias e causas especiais. Além disso, existe também a variabilidade relacionada à medição, ou seja, a variância do erro de medição que pode ser causado pela falta de calibração do equipamento, pelo procedimento e condições de medição utilizados, entre outros. Supondo o erro de medição independente da variabilidade real da característica, tem-se a equação (13) (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2005).

$$\sigma_{total}^2 = \sigma_{processo}^2 + \sigma_{medição}^2 \quad (13)$$

A variância do erro de medição se desdobra em duas outras variâncias: a de repetitividade e outra de reprodutibilidade, dadas pela equação (14).

$$\sigma_{medição}^2 = \sigma_{repetitividade}^2 + \sigma_{reprodutibilidade}^2 \quad (14)$$

A repetitividade de uma ferramenta de medição é a “aptidão do instrumento em fornecer indicações muito próximas, em medições sucessivas de um mesmo mensurando, sob as

mesmas condições de medição” (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2005, p.146). O cálculo da variância da repetitividade é estimado pela equação (15).

$$\hat{\sigma}_{repetitividade} = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (15)$$

Sendo que $\bar{R}$ é igual a média das diversas amplitudes calculada a partir do conjunto de medidas para uma mesma peça e d_2 igual ao número de medidas repetidas para cada peça e é retirado da Tabela 4 e entrando com o valor “n” referente ao tamanho da amostra (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2005).

Tabela 4 – Valor da constante d_2 (Adaptada de Costa, Epprecht e Capinetti, 2009)

n	d_2
2	1,128
3	1,693
4	2,059
5	2,326
6	2,534
7	2,704
8	2,847
9	2,970
10	3,078
11	3,173
12	3,258
13	3,336
14	3,407
15	3,472

Quando a medição é realizada por mais de uma pessoa, a equação (16) é aplicada para a variância da repetitividade, em que $\bar{\bar{R}}$ é a média aritmética da média das amplitudes $\bar{R}$ de todas as pessoas que realizaram as medições.

$$\hat{\sigma}_{repetitividade} = \frac{\bar{\bar{R}}}{d_2} \quad (16)$$

A reprodutibilidade é “o grau de concordância entre os resultados das medições de um mesmo mensurando efetuadas sob condições variadas de medição” (COSTA; EPPRECHT;

CARPINETTI, 2005, p.146), ou seja, por diversos operadores. É estimada pela equação (17), em que n é igual ao número de medições e d_2 igual ao valor dessa constante obtida na Tabela 4 para o tamanho da amostra referente ao número de operadores.

$$\hat{\sigma}_{reprodutibilidade} = \sqrt{\left(\frac{R_{\bar{x}}}{d_2}\right)^2 - \frac{(\hat{\sigma}_{repetitividade})^2}{nr}} \quad (17)$$

Sendo que $R_{\bar{x}}$ é dado pela equação (18), em que $\bar{x}_{max}$ é o máximo valor dos resultados médios mensurados pelos operadores e $\bar{x}_{min}$ é o valor mínimo identificado entre os resultados medidos por diferentes operadores.

$$R_{\bar{x}} = \bar{x}_{max} - \bar{x}_{min} \quad (18)$$

Se $\hat{\sigma}_{reprodutibilidade}$ for menor que zero significa que esse valor pode ser estimado como sendo igual a zero.

Assim, o índice R&R (repetitividade e reprodutibilidade) pode ser calculado por meio da equação (19).

$$R\&R = 6\hat{\sigma}_{medição} = 6\sqrt{\hat{\sigma}_{repetitividade}^2 + \hat{\sigma}_{reprodutibilidade}^2} \quad (19)$$

A porcentagem da variabilidade total dos dados devido ao instrumento (%R&R) é dada pela equação (20). E o $\hat{\sigma}_{total}$, estimado para σ_{total} , é calculado por meio da equação (21).

$$\%R\&R = \frac{R\&R}{6\hat{\sigma}_{total}} 100 \quad (20)$$

$$\hat{\sigma}_{total} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^o \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^r (X_{ijk} - \bar{\bar{X}})^2}{onr-1}} \quad (21)$$

Sendo que na equação (21), o é igual ao número de operadores, n é o número de itens, r é o número de medidas de cada item por cada operador e $\bar{\bar{X}}$ é igual a média aritmética de todas

as *onr* medidas (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2005). O Quadro 1 mostra a classificação do sistema de medição de acordo com o valor obtido através do cálculo do R&R.

Quadro 1 – Adequabilidade do sistema de medição (Costa, Epprecht e Carpinetti, 2009)

%R&R	Classificação
$\%R\&R \leq 10\%$	Adequado
$10 < \%R\&R \leq 30\%$	Pode ser adequado dependendo da importância da aplicação, do custo do instrumento, do custo de manutenção, etc
$\%R\&R \geq 30\%$	Inadequado. Sistema de medição necessita de melhorias

2.4 A Importância da Qualidade no Processo de Pintura na Indústria Automotiva

No mundo globalizado, a qualidade, habilidades e conhecimento garantem vantagem competitiva para qualquer empresa. O mercado mundial é muito competitivo, e para sobreviver, as empresas precisam produzir serviços e produtos de alta qualidade de modo a obter a lealdade e satisfação dos clientes para estimular no crescimento do negócio (MONTGOMERY et al., 2008, p. 878-895).

A Gestão da Qualidade tem sido reconhecida como uma fonte de vantagem competitiva e um dos fatores mais relevantes para a competitividade global (PUNNAKITIKASHEM et al., 2010, p.1021-1035). A fim de gerenciar a qualidade, as organizações devem ter os seguintes objetivos: concretizar a relação com os clientes e as partes interessadas; reduzir as variações em processos chave, ou seja, controlar os processos; e realizar a melhoria contínua de processos e produtos (van IWAARDEN et al., 2006, p.102-112).

Atualmente, ocorreu um aumento da variedade de produtos oferecidos devido à demanda por serviços e produtos alternativos no mercado por parte de consumidores cada vez mais exigentes. Em paralelo, o tempo de vida dos produtos tem diminuído em muitas indústrias por conta da influência do surgimento de tendências e de uma competição global mais severa. Prova disso são as indústrias automotivas inseridas neste contexto. Os fabricantes de carros, por exemplo, introduzem novos modelos em um ritmo bastante acelerado, com listas de opções de carros cada vez maiores, embora muitas características antes consideradas opcionais tenham se tornado equipamentos de série. Isso mostra como os sistemas de gestão da qualidade necessitam se adaptar continuamente para lidar com novas situações (van IWAARDEN et al., 2006, p.102-112).

Na tentativa de gerir essas mudanças, os líderes das indústrias acataram a estratégia de negócio Seis Sigma como uma estrutura e solução para alcançar a melhoria contínua de

processos, satisfação do cliente e, também, o lucro organizacional. Essa abordagem utilizada para reduzir defeitos tem causado um impacto substancial em muitas organizações, resultando em melhoria de desempenho e um desenvolvimento significativo dos lucros da empresa, moral dos funcionários, qualidade dos produtos e fidelização de clientes (MONTGOMERY et al., 2008, p. 878-895).

O Seis Sigma é uma ferramenta bem aceita para a melhoria do processo e controle de qualidade. É uma metodologia e processo estruturado, disciplinado e com coleta de dados em que o foco é melhorar o desempenho da empresa usando ferramentas com ênfase na análise estatística (ZHAN, 2011, p.75-92). Atualmente, o Planejamento Experimental (em inglês, *Design of Experiments* – DOE) tem sido muito utilizado como uma técnica chave empregada na fase de desenvolvimento (*Improvement*) da metodologia Seis Sigma. A técnica DOE é muito importante e utilizada para desenvolver produtos ou processos mais confiáveis e robustos (ROWLANDS; ANTONY, 2003). O Planejamento Experimental é uma das poderosas ferramentas utilizadas para investigar, mais a fundo, causas de variação de processo escondidas. É útil para descobrir os efeitos das variáveis ocultas e estudar os possíveis efeitos das variáveis durante o projeto e desenvolvimento de um processo (KONDA et al., 1999, p.56-71).

Aliada ao Seis Sigma, outra ferramenta que tem tido um impacto considerável na indústria automotiva é o *Lean Manufacturing*. Hoje, as fábricas de automóveis modernas são mais notadas pela organização do que pela tecnologia de produção, em que essa organização é focada em minimizar o estoque de peças e o trabalho em andamento. Ao mesmo tempo, as indústrias automotivas visam manter a flexibilidade necessária para satisfazer a demanda de um mercado em constante mudança. Esse conceito de Lean vem sendo bastante aplicado na cadeia de suprimento automotiva (KOCHAN, 1998, p.132-137). Essa nova forma de organização, denominada Produção Enxuta, surgiu com o sistema implementado na Toyota e, posteriormente, foi adotado pelas demais indústrias automotivas, apresentando muitos aspectos revolucionários e trazendo mudanças radicais na relação entre as companhias. Com isso, a produção ficou caracterizada por um alto grau de terceirização e entregas sequenciadas (ALÁEZ-ALLER, 2010, p.312-335).

A pintura automotiva é um elemento importante na fabricação de veículos, além de um processo extremamente complexo (LI; BLUMENFELD; MARIN, 2007, p.75-79). É o estágio mais caro da indústria automobilística e, portanto, requer uma gestão crítica de custos e, como consequência, envolve custos relacionados à técnicas de monitoramento que visam garantir a qualidade do produto (WAEYENBERGH; VANNIEUWENHUYSE; PINTELON, 2004,

p.37-46). As indústrias automotivas tem reconhecido a necessidade de controle do processo de pintura como uma ferramenta para desenvolver a qualidade da pintura e otimizar o uso de materiais. A qualidade, durabilidade e combinação de cores da pintura são fatores críticos para a satisfação dos clientes e requerem esforços significativos no controle do processo (FILEV, 2002).

Visando desenvolver a qualidade da pintura, sistemas de reparo e retrabalho são usados em muitas automotivas, onde veículos com defeitos de pintura são reparados ou repintados (LI; BLUMENFELD; MARIN, 2007, p.75-79). Esse retrabalho pode aumentar significativamente o rendimento do sistema e reduzir os custos, o número de refugos, entre outros (LI, 2004, p.90-98). Geralmente, a espessura da película de tinta é considerada um dos principais fatores de determinação da qualidade da pintura, no entanto, essa espessura não é suficiente para controlar e otimizar o desempenho do processo levando em consideração a variedade de combinações possíveis de cores, estilos e equipamentos de pintura necessários para pintar um veículo (FILEV, 2002).

Outro fator apresentado em estudos recentes é que a flexibilidade da manufatura tem um impacto significativo na qualidade dos produtos. Isso pode ser exemplificado pelo fato de que embora as cabines de pintura possuam capacidade para operar com cores de tinta diferentes, a qualidade de pintura está fortemente relacionada ao número de cores de tinta disponíveis e essa qualidade pode diminuir depois da troca de cores, ou seja, a cor do veículo anterior pode afetar a qualidade do próximo veículo, assim como as cores mais escuras podem impactar nas cores mais claras (LI et al., 2010, p.1-15). Dessa forma, em linhas de pintura, as entradas costumam ser arranjadas em uma determinada sequência e agrupadas em lotes de características diferentes, como por exemplo, veículos de mesma cor são agrupados em um mesmo lote de modo a reduzir os custos e o tempo de troca de cor, além de melhorar a qualidade (LI et al., 2009, p.3823-3851).

2.5 Testes e ferramentas utilizados na qualidade do processo de pintura automotiva

Existe uma série de equipamentos extremamente úteis no controle de qualidade do processo de pintura automotiva. Alguns por si só já fornecem diretamente o resultado necessário para a análise da qualidade da pintura na peça, enquanto outros são utilizados para a realização de testes práticos, os quais demonstrarão a qualidade da peça segundo algum requisito.

Como exemplo dessas ferramentas pode-se citar: o *X-Rite*, que realiza análise do espectro da cor tinta na peça; o *Wave Scan*, responsável por medir o alastramento do verniz; o Copo Ford, para realizar o teste de viscosidade da tinta; as canetas *Dynas*, responsáveis por medir a tensão superficial da tinta; o *Micro TRI-Gloss*, o qual mede o brilho da peça; a unha de gato (ferramenta de corte) e a fita adesiva, utilizadas na realização do teste de aderência; o Datapaq, utilizado para a análise térmica da peça dentro da estufa. Estes três últimos equipamentos serão utilizados na fase de coleta de dados do presente trabalho.

2.5.1 Datapaq

Segundo o fornecedor, o Datapaq (Figura 7) é um equipamento utilizado para criar um perfil de temperatura, ou seja, realiza a gravação do processo e a interpretação da temperatura dos produtos enquanto se movem pela estufa de tinta. Os dados numéricos coletados são convertidos em informações significativas e exibidos em um gráfico por meio *software* de análise da temperatura.



Figura 7 – Datapaq (Site do fornecedor)

Essa informação mostra qual a temperatura atingida pelo produto e por quanto tempo permaneceu nesta temperatura, como mostra a Figura 8. Analisando o perfil térmico, é possível verificar e desenvolver a qualidade do produto, além de melhorar a capacidade de solução de possíveis problemas.

Para se ter um sistema efetivo de análise do perfil da temperatura, o Datapaq deve possuir os seguintes componentes: sensores de termopar, para coletar informações sobre a temperatura; coletores de dados; barreiras térmicas para proteger os coletores de dados e; o software de análise do perfil da temperatura e armazenamento dos dados coletados.

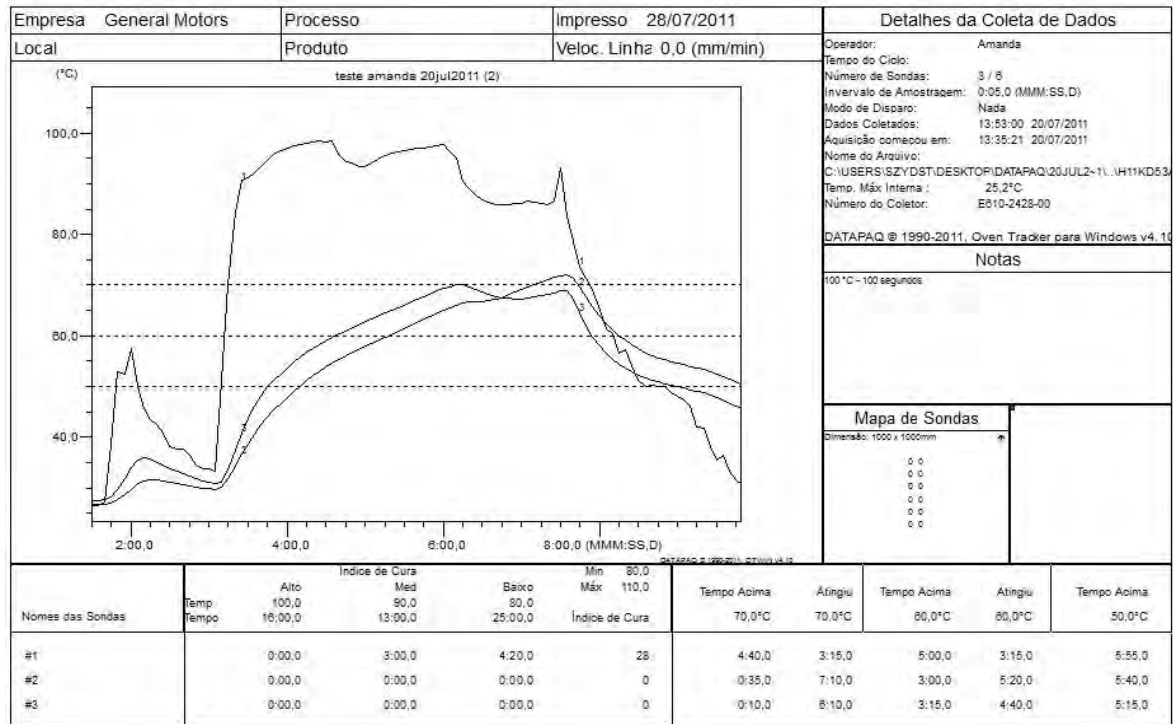


Figura 8 – Gráfico do comportamento térmico da peça dentro da estufa coletado com o auxílio do Datapaq e gerado pelo *software* (Material fornecido pela GM)

Os componentes do Datapaq se encontram dentro de uma maleta que os protegem do calor da estufa, como mostra a Figura 9. Essa maleta ainda é colocada em um suporte que foi projetado justamente para se encaixar no skid, sendo que os termopares são fixados em cada uma das estruturas (direita e esquerda) contendo chapas plásticas, simulando a temperatura absorvida pelas peças plásticas colocadas nos lados direito e esquerdo do skid.



Figura 9 – Maleta e suporte para o Datapaq (Material fornecido pela GM)

A Figura 10 mostra o componente *Memory Paq* que fica dentro da maleta ligado na barreira térmica do Datapaq, sendo ligado no transdutor e interface com o computador através do qual as informações coletadas são transferidas para o *software*.

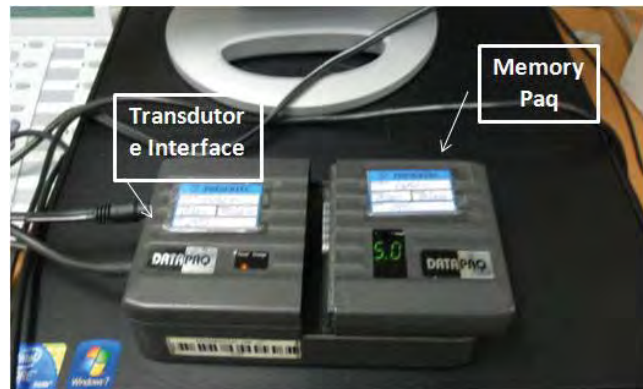


Figura 10 – Representação do *Memory Paq* sendo conectado ao Transdutor e Interface com o computador (Material fornecido pela GM)

2.5.2 Teste de Aderência

Primeiramente, para realizar o teste de aderência é necessária a presença dos seguintes aparelhos: escova de poliamida (1), espátula (2), ferramenta de corte (unha de gato / garfo) (3), lente de aumento (4) e fita adesiva (5), conforme indicado na Figura 11.



Figura 11 – Ferramentas utilizadas no Teste de Aderência (Material fornecido pela GM)

Com o auxílio da ferramenta de corte (unha de gato/garfo) são realizados cortes cruzados em diferentes regiões da superfície pintada da peça. Esse corte cruzado é feito traçando-se um risco contínuo sob a peça e, em seguida, outro risco perpendicular ao

primeiro, atribuindo, assim, a aparência de uma superfície quadriculada, como pode ser observado na Figura 12.

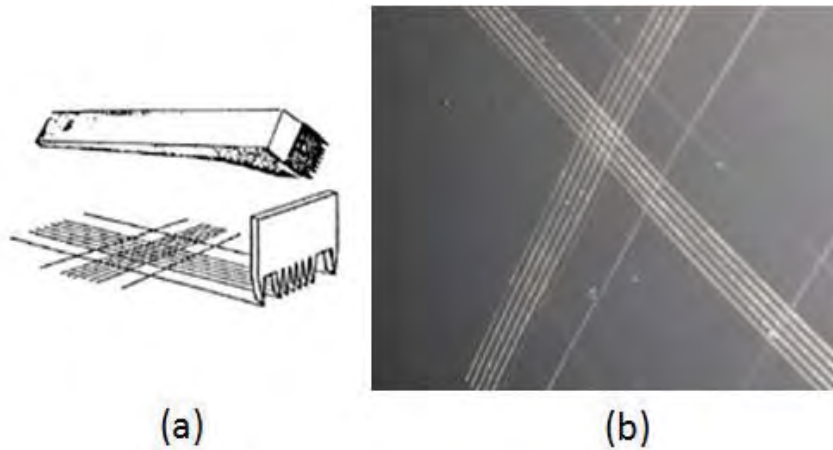


Figura 12 – Ferramentas de corte e uma demonstração do quadriculado (a) e o risco quadriculado realizado com a unha de gato na peça (b) (Google Imagens / Material fornecido pela GM)

Após efetuar o risco na peça, com auxílio da escova de poliamida, deve-se remover as pequenas partículas que se desprenderam da peça durante o atrito entre a peça e as lâminas de corte do garfo. Com isso, a fita adesiva é colocada sobre as regiões onde foram feitos os cortes transversais sobre a superfície pintada da peça e, com o auxílio da espátula, a fita deve ser pressionada contra a peça, de modo a obter uma maior aderência possível entre a fita e a peça e evitar o surgimento de vincos ou bolhas de ar na fita (Figura 13).

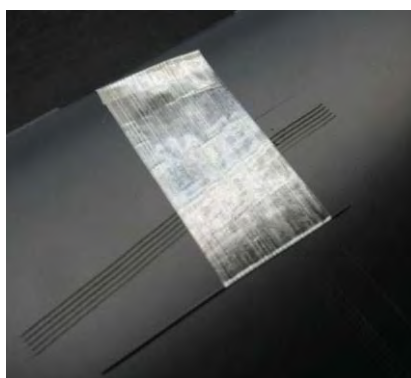


Figura 13 – Fita adesiva colada na região do corte transversal (Material fornecido pela GM)

Em seguida, as fitas adesivas coladas na peça devem ser arrancadas de forma rápida e a um ângulo menor que 90° . Com isso, é observado visualmente na fita adesiva se houve deslocamento de tinta, conforme mostra Figura 14.



Figura 14 – Arrancamento da fita adesiva da peça (Material fornecido pela GM)

É por isso que a região do corte transversal deve ser escovada, com o intuito de evitar uma avaliação errônea do teste, já que com o arrancamento da fita adesiva, essas partículas geradas com o corte podem se aderir na fita dando uma noção de falso deslocamento.

A classificação do teste é dada em função do deslocamento observado durante o arrancamento das fitas adesivas. Na *General Motors* (GM), a classificação utilizada é de acordo com a Figura 15, em que:

- GT 0 = As bordas do corte são completamente lisas. Nenhum dos quadrados da malha é destacado;
- GT 1 = Ocorre o descolamento de pequenas partículas de tinta nos cruzamentos dos cortes. No máximo 5% da área de corte transversal fica comprometida;
- GT 2 = Ocorre o deslocamento de tinta ao longo das bordas e/ou nos cruzamentos dos cortes. De 5% e 15% da área de corte cruzado fica comprometida;
- GT 3 = Observa-se o deslocamento da tinta nas bordas, podendo sair uma tira parcial ou total de tinta e/ou a saída de partículas em diferentes partes dos quadrados. Aproximadamente, na faixa de 15 a 35% da área de corte cruzado fica comprometida;
- GT 4 = Ocorre o deslocamento da tinta nas bordas, marcada pela remoção de largas tiras e/ou alguns quadrados parcial ou totalmente destacados. De 35 a 65% da área de corte cruzado fica comprometida;
- GT 5 = Uma área de corte cruzado maior que 65% é afetada.

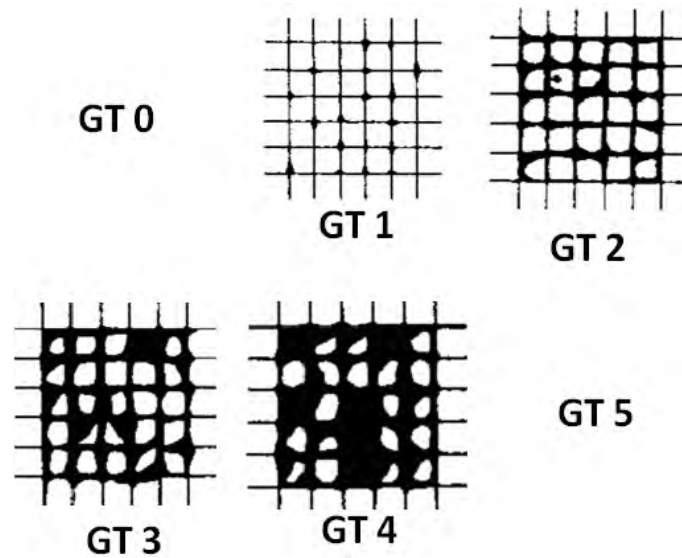


Figura 15 – Classificação em relação ao grau de deslocamento de tinta utilizado pela GM (Material fornecido pela GM)

2.5.3 Teste de Brilho

O teste de brilho é realizado para avaliar se as condições de brilho da tinta na peça estão de acordo com as especificações da empresa para cada tinta. Para o caso do esmalte Antracite, a ser analisado neste trabalho, as especificações impostas pela GM para o brilho é que o mesmo deve estar nos limites de especificação de 8 a 12 (medida adimensional), valores facilmente obtidos com auxílio de um equipamento denominado Micro *TRI-Gloss* (Figura 16(a)).

Segundo o catálogo do fornecedor para esse equipamento, o valor obtido com o *TRI-Gloss* segue um padrão de acordo com o valor do reflectômetro, o qual está relacionado a um padrão de vidro escuro com um índice de refração definido. Os reflectômetros são diferenciados de acordo com o ângulo de incidência do mecanismo de iluminação. As geometrias são definidas nos padrões de 20°, 60° e 85°.

Essa variedade de geometrias é distinguida em função do tipo de aplicação, tais como:

- Superfícies com semi-brilho devem ser medidas a um ângulo de incidência de 60°, como é o caso do esmalte Antracite e, para essa geometria os valores medidos devem estar entre 8 e 12;
- Superfícies altamente refletivas que apresentem valores maiores que 70 na geometria de 60°, devem ser medidas a um ângulo de 20°;

- Por outro lado, superfícies opacas com menos de 10 unidades de brilho a 60°, devem ser medidas a uma geometria de 85°.

A realização das medidas deve ser feita posicionando o equipamento em cima da peça e mantendo-o fixo e pressionado (Figura 16(b)), com isso, deve-se clicar no botão “Operate” situado na parte lateral do *TRI-Gloss* e, com isso, soará um som indicando que o teste foi realizado. Logo em seguida, aparece uma tela no equipamento contendo os resultados, como pode ser observado na Figura 17.



Figura 16 – Equipamento *Micro TRI-Gloss* do fornecedor BYK (a) e exemplo de medição de brilho com o *TRI-Gloss* em um pára-choque (b) (Site do fornecedor / Material fornecido pela GM)



Figura 17 – Botão “Operate” (a) e resultado apresentado pelo equipamento (b) (Material fornecido pela GM)

Vale ressaltar que, por exemplo, para a especificação do Antracite de brilho entre 8 e 12 significa que quanto mais próximo do valor 8, mais opaca a peça se encontra e, quanto mais próximo de 12, mais brilhante.

2.6 Componentes Plásticos na Indústria Automotiva

Durante muitos anos, algumas partes e painéis do carro eram feitos predominantemente de chapas metálicas. No entanto, os projetistas de veículos passaram a fazer o uso do plástico para algumas partes externas e painéis do carro, com o intuito de criar um estilo mais uniforme e de reduzir os custos com ferramental. Além disso, com a introdução do conceito de redução de peso, o plástico passou a ser usado como uma alternativa para substituir componentes metálicos pesados, como por exemplo, pára-choques, painéis, pára-lamas, molduras de janelas e portas, entre outros (SPAIN; TRUOG, 1995).

O uso de plásticos resulta em uma economia significativa em materiais e em energia de combustíveis fósseis. No setor automotivo, a substituição de componentes metálicos por componentes plásticos que pesam menos de 50% do original contribui para uma notável economia de energia (ANDRADY; NEAL, 2009, p.1977-1984).

A pintura de componentes plásticos do carro envolve basicamente a pintura manual com spray em uma instalação de pintura adequada, seguida pelo processo de secagem e, então, as partes acabadas são transportadas para a operação de montagem. Uma demão de pintura automotiva de qualidade, para poder ser aplicada na pintura externa de veículos, deve seguir determinadas especificações relacionadas a uma série de propriedades físicas, tais como: brilho; distinção de imagem; dureza; resistência à abrasão; intempéries como resistência aos raios UV; resiliência; estabilidade térmica chamada resistência a temperaturas extremas, tanto altas quanto baixas; resistência a gasolina e ácido; facilidade de limpeza; resistência a exposição à água e umidade; e ocultando a opacidade da camada de pintura (SPAIN; TRUOG, 1995).

O plástico ainda oferece como vantagem a combinação inerente de resistência à corrosão e alta resistência. Os plásticos mais utilizados na engenharia são: poliuretanos (PU) e poliuréia; acronitrila/butadieno/estireno (ABS) e estireno/acronitrila (SAN) copolímeros; policarbonatos (PC); poliamidas (PA); polibuteno tereftalatos (PBT); e polietileno tereftalatos (PET) poliésteres. A Figura 18 mostra o consumo de plásticos leves nas indústrias automotivas norte-americanas no ano 2000 (RYNTZ; YANEFF, 2003).

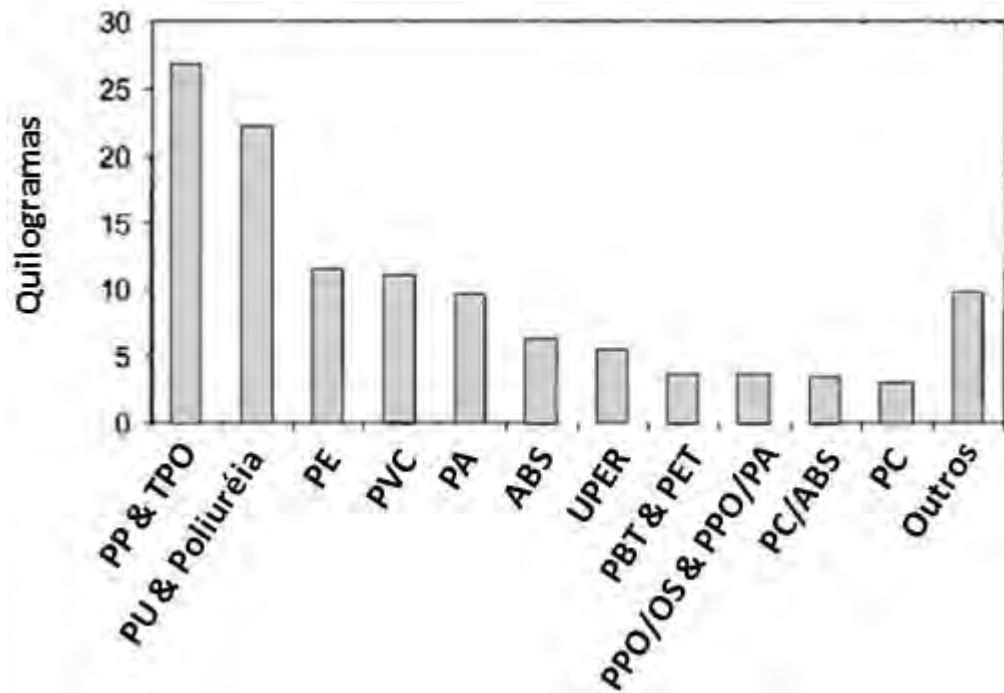


Figura 18 – Consumo de plásticos leves pela maioria das indústrias automotivas norte-americanas no ano 2000 (RYNTZ; YANEF, 2003)

Para Subramanian (2011), o polycarbonato, o nylon e o ABS continuarão sendo os plásticos de engenharia de maior volume presentes nas indústrias, representando mais de 75% da demanda total de plásticos em 2012.

O plástico ABS terpolímero é um dos plásticos de engenharia mais utilizados e possui uma excelente resistência ao impacto e uma elevada resistência mecânica, além de apresentar uma boa estabilidade dimensional e propriedades de isolamento elétrico. É amplamente utilizado pela engenharia por ser um polímero mais rígido. E apresenta um comportamento viscoelástico em ambos estados, sólido e derretido. Além disso, o ABS possui uma alta resistência ao impacto mediante temperaturas elevadas, com uma boa rigidez e resistência. No entanto, por ser um terpolímero, o ABS tem uma aplicação ao ar livre limitada. A durabilidade do ABS é importante em muitas aplicações e depende das condições de composição, processamento e operacional. A Tabela 5 apresenta as principais propriedades do ABS (SUBRAMANIAN, 2011).

Tabela 5 – Propriedades do ABS (SUBRAMANIAN, 2011)

Propriedades	Valores	Unidade
Peso específico	1.04	-
Temperatura de processamento	210-230	°C
Temperatura de transição vítrea Tg	95	°C
Temperatura de deflexão	80-90	°C
Temperatura de transição	105	°C
Temperatura superior de trabalho	60	°C

3 A EMPRESA

A GM está presente no Brasil a mais 86 anos com a venda da marca Chevrolet e está em ritmo de recordes e expansão. Em 2010, a empresa teve seu melhor resultado de vendas na história do mercado brasileiro, com 657.724 veículos vendidos.

A marca Chevrolet no Brasil é composta por 20 modelos: Celta, Classic, Prisma, Corsa hatchback, Corsa sedã, Agile, Astra hatchback, Astra sedã, Vectra sedã, Vectra GT (hatchback), Omega, Malibu, o superesportivo Camaro, os monovolumes Meriva e Zafira, os utilitários esportivos Blazer e Captiva e picapes Montana e S10 Cabine Simples e S10 Cabine Dupla.

A GM conta com três complexos industriais que produzem veículos no Brasil – São Caetano do Sul e São José dos Campos, no estado de São Paulo e, Gravataí, no Rio Grande do Sul – além de unidades em Mogi das Cruzes (fábrica de componentes estampados), Sorocaba (centro distribuidor de peças) e Indaiatuba (Campo de Provas da Cruz Alta), como pode ser observado na Figura 19.



Figura 19 – Localização geográfica das fábricas da GM no Brasil (REIS, 2004)

O Complexo Industrial da GM em São José dos Campos foi a segunda unidade da companhia a ser instalada no Brasil no ano de 1959, contando com a Fundição de Ferro e a Fábrica de Montagem de Motores. Em 1970, foi lançado o modelo Chevette, com a inauguração de uma linha de montagem no complexo (REIS, 2004).

Atualmente, a GM de São José dos Campos é composta pelas seguintes áreas: MVA-Corsa, Estamparia, CKD (*Completely Knocked Down*), Fábrica de Componentes Plásticos, WFG, MVA-S10 e Powertrain (Fábrica de Motores), sendo esta última composta pela Família I (para motores de aplicações menores, como por exemplo, Celta e Corsa) e a Família II (para aplicações maiores, como é o caso do Astra e S10, além de conter a unidade de produção de transmissões) (BARROS, 2005). O layout do Complexo de São José dos Campos pode ser observado na Figura 20, ressaltando que as áreas de Fundição se encontram desativadas.

O presente trabalho foi desenvolvido na Fábrica de Componentes Plásticos situada no Complexo Automotivo da GM em São José dos Campos.



Figura 20 – Layout do Complexo Automotivo da GM em São José dos Campos, destacando-se a Fábrica de Componentes Plásticos (REIS, 2004)

3.1 Fábrica de Componentes Plásticos

A Fábrica de Componentes Plásticos é responsável pelas atividades de injeção e pintura de peças plásticas. A área de injeção é composta por dezessete injetoras com diferentes tonelagens entre 500, 750, 1000, 1100, 1800 e 2300 toneladas, além de 123 tipos de moldes diferentes. São injetados aproximadamente 220 itens, tais como, pára-choques, molduras da caixa de roda, grades do radiador, molduras da grade, mustache, entre outros, sendo que são utilizados basicamente dois tipos de plásticos, o ABS, mais rígido e, o PP. O consumo mensal de plástico gira em torno de 361 toneladas, considerando três turnos. As máquinas possuem uma produtividade média de 52,9 ciclos por hora. A Figura 21 apresenta o layout da área de injeção.

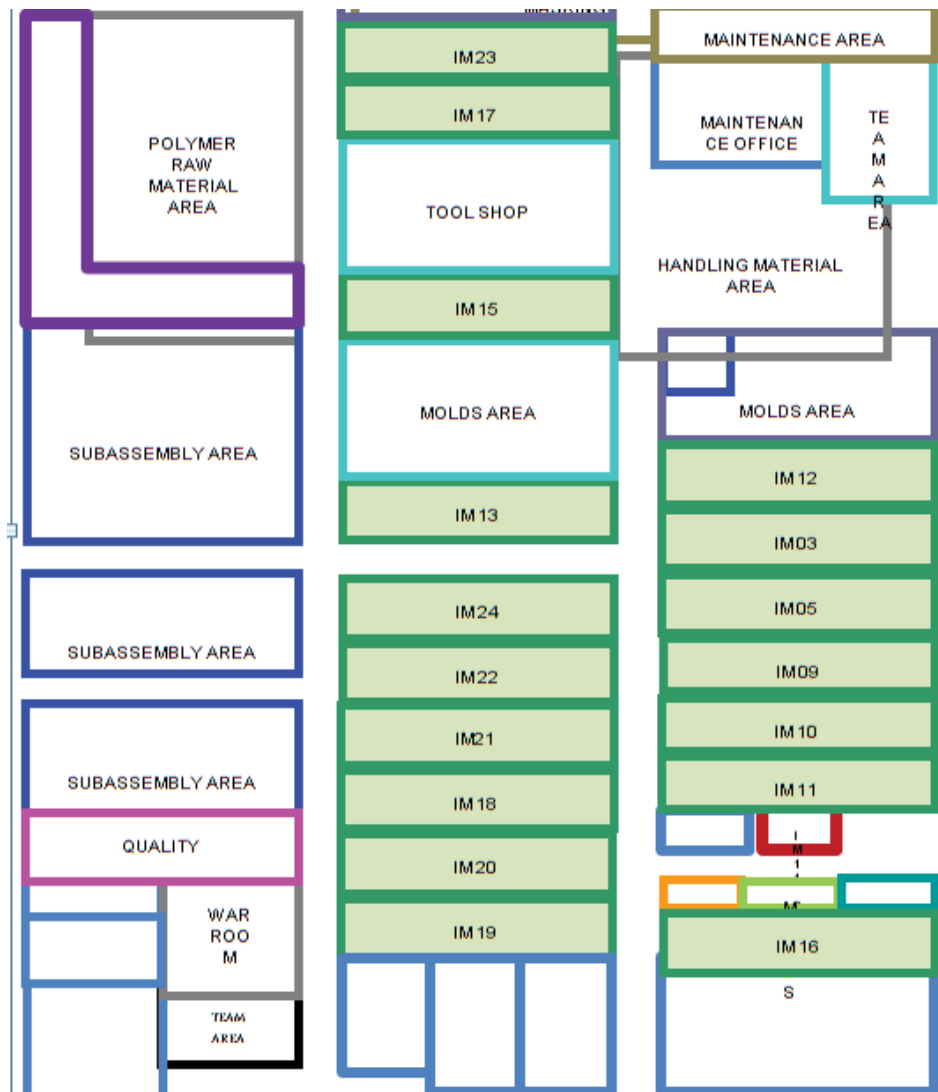


Figura 21 – Layout da área de injeção de componentes plásticos (Material fornecido pela GM)

Vale ressaltar que a diferença existente entre a quantidade de moldes e a quantidade de itens se dá pelo fato de um mesmo molde fabricar mais de um item, ou seja, o lado esquerdo ou direito e dianteiro ou traseiro de um componente por mais que sejam injetados da mesma maneira são considerados itens diferentes.

Depois de injetados, componentes como pára-choques, molduras e grades são enviados para a área de pintura da fábrica. No total, são pintados 33 itens em 10 diferentes cores de tinta. São pintadas 4.500 peças por dia em três turnos.

Após a pintura, as peças são inspecionadas e, em seguida, enviadas para os clientes internos, ou então, são estocadas, até o momento do pedido. Alguns componentes, como é o caso dos pára-choques, após o processo de pintura são inspecionados e enviados para a área de Montagem. Depois de montados, os pára-choques seguem o fluxo igual às demais peças.

A Figura 22 mostra o gráfico referente à porcentagem de peças plásticas injetadas e pintadas para atender à demanda dos clientes. Nota-se que as maiores demandas são de peças pintadas para o MVA Corsa e o MVA S10. As peças enviadas para São Caetano do Sul (SCS), Rosário (RO) e Powertrain (PWT) são somente injetadas. Já aquelas enviadas para o CKD e P&A são em parte injetadas e pintadas.

Este trabalho apresentará um projeto realizado na área de pintura de componentes plásticos.

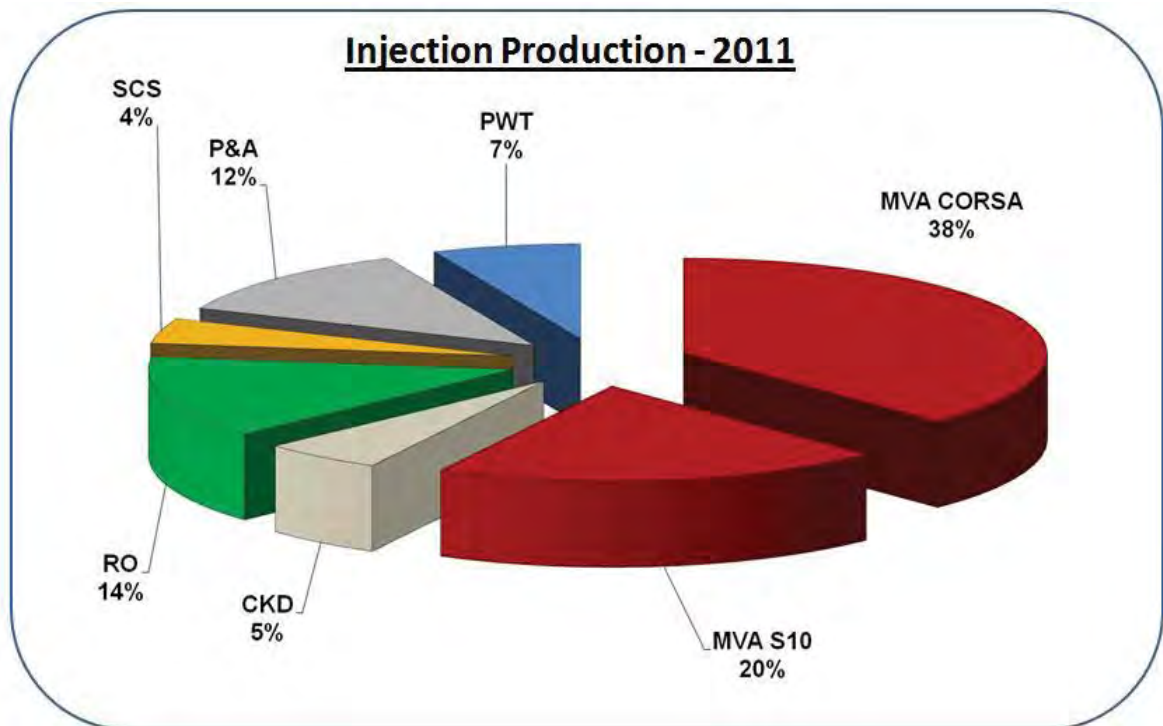


Figura 22 – Percentual de produção por clientes para o ano de 2011 (Material fornecido pela GM)

3.2 Processo de Pintura

O layout do processo de pintura da Fábrica de Componentes Plásticos pode ser observado na Figura 23. O processo se inicia na área denominada Preparação ou Carga. Na Carga, as peças injetadas, chamadas de peças virgem, são carregadas pelos operadores até a linha, onde são dispostas em berços dos skids, como pode ser observado na Figura 24.

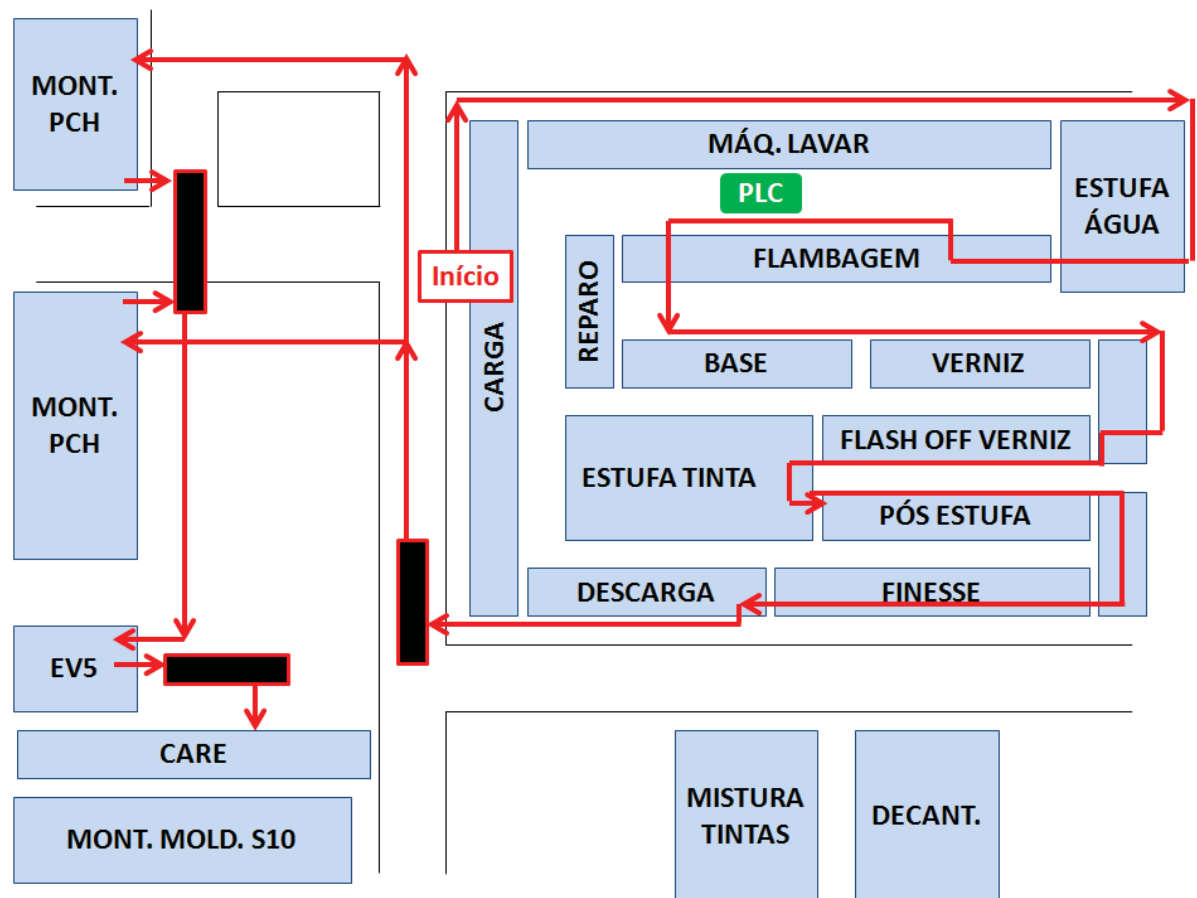


Figura 23 – Layout da área de pintura de componentes plásticos (Material fornecido pela GM)

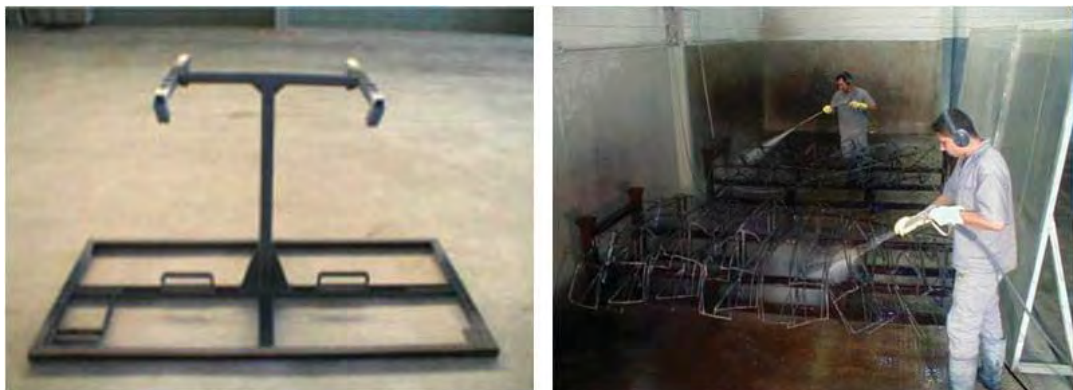


Figura 24 – Skid (lado esquerdo) e berços sendo lavados (lado direito) (Material Sanlex Comercial)

Em alguns casos, as peças colocadas nos skids são peças de segunda volta, ou seja, peças que já passaram pelo processo de pintura, porém, foram rejeitadas na inspeção realizada pelo controle de qualidade devido alguma não-conformidade, como por exemplo, sujeira, bolhas na superfície da tinta, fiapo de injetora, entre outros tipos de defeitos de pintura. Para alguns defeitos é possível realizar o lixamento da peça e uma posterior repintura da mesma, a qual é denominada peça de segunda volta e são recolocadas na linha pelos operadores da Carga.

Com as peças nos skids, é realizada uma pré-limpeza das mesmas pelos operadores, utilizando panos com álcool isopropílico. No momento da limpeza, é de responsabilidade também do pessoal da Carga de verificar a situação das peças, se existe a presença de danos, batidas, porosidade, entre outros tipos de não-conformidades na peça virgem. Caso exista, deve-se tentar recuperar a peça, por exemplo, através do lixamento da mesma, caso contrário, a peça deve ser separada e, em seguida, enviada para a área de moagem, onde essa peça será moída e o plástico será reutilizado no processo de injeção.

A próxima etapa do processo é mecanizada e consiste na limpeza da peça por meio de um banho com água industrial. Em seguida, a peça passa por um soprador d'água com a finalidade de eliminar a maior quantidade possível de água do substrato e, posteriormente, passa por uma estufa d'água, concluindo o processo de secagem completa da peça, de modo a garantir uma maior aderência da tinta no substrato.

A etapa seguinte consiste no processo de flambagem, responsável pela inversão de polaridade da peça, já que a temperatura elevada incidente no componente causa a abertura dos poros do mesmo, diminuindo a aderência de sujeira na superfície da peça, além disso, a flambagem também aumenta a tensão superficial da peça, o que garante uma maior aderência da tinta.

Em seguida, o skid é direcionado para a cabine de pintura, onde os pintores realizam a aplicação de um promotor de aderência na peça, com intuito garantir a aderência e de evitar o deslocamento da tinta. Após, ocorre à aplicação de uma demão de tinta e, por último, uma demão de verniz. Assim, o skid segue para o *flash off* do verniz, onde os solventes da tinta evaporam, iniciando a secagem da tinta.

Com isso, a pintura do componente já está completa e o skid segue até a estufa de tinta, onde permanece durante um determinado tempo especificado pelo fornecedor de tintas, de modo a garantir a cura da tinta. Essa especificação é apresentada através da janela de cura, a qual mostra para uma determinada temperatura de incidência na peça, o tempo recomendado de permanência do componente dentro da estufa mediante essa temperatura constante,

obtendo, com isso, a secagem adequada para não ocorrer defeitos, como por exemplo, deslocamento da tinta, peça “melada” (com a tinta ainda molhada), impossibilitando retrabalhos, quando necessários, manuseio da peça, entre outros problemas. Na Figura 25 pode ser observada a janela de cura utilizada na pintura de componentes plásticos na GM, a qual se aplica para todas as cores, inclusive para o esmalte Antracite. Vale lembrar que para obedecer essa janela de cura em que as tintas devem ser submetidas a uma temperatura de 90 °C durante 12 minutos, estão os valores da temperatura da estufa fixado em 114 °C e o do tempo de permanência total da peça na estufa para se obter a secagem adequada da peça que está em torno de 20 minutos.

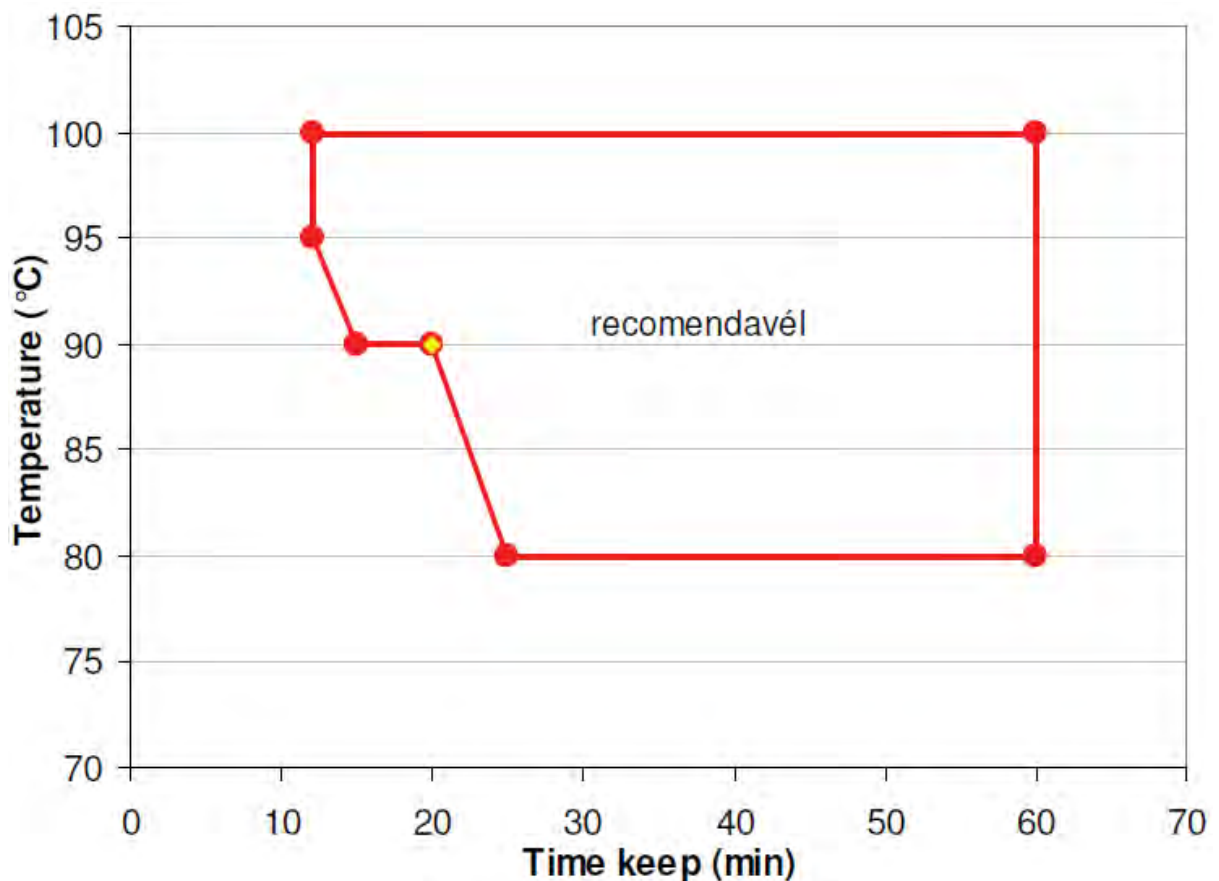


Figura 25 – Janela de cura recomendada pelo fornecedor para todas as tintas utilizadas na Fábrica de Componentes (Fornecedor de tintas)

Saindo da estufa, o skid segue até a área de Finesse, a qual se trata de uma estação de verificação de qualidade das peças. Os operadores realizam uma verificação visual e manual, procurando a existência de alguma não conformidade e, com isso, fazem um apontamento *on line* em um *software* denominado GSIP, classificando se a peça está conforme ou não

conforme, sendo que neste último caso, é especificado no *software* a região da peça e o tipo de defeito identificado. Ainda no Finesse, as peças com defeitos são retrabalhas, utilizando a politriz e, se mesmo assim a peça não for recuperada, dependendo do tipo de defeito, ou a peça é lixada totalmente e enviada para a segunda volta (repintura), ou senão, é lixada em parte e enviada para a cabine de reparos, ou ainda, pode virar um scrap (refugo).

Os componentes conformes saem do Finesse e os pára-choques vão para a área de Montagem, na qual insertos, faróis, chicotes, sensores, são acoplados no mesmo. Cada pára-choque tem uma estação específica com suportes, ferramental e componentes de fixação adequados. As demais peças seguem até a estação de verificação denominada EV-5.

Depois de montados, os pára-choques também seguem para a EV-5. Nesta área é realizada mais uma inspeção de qualidade das peças, sendo que a presença de algum defeito requer um retrabalho que dependendo do grau de complexidade pode ser resolvido na própria estação, ou então, enviado para a área de Finesse, onde são preparados para a segunda volta.

Saindo da EV-5, os componentes podem tomar dois rumos: seguir para o cliente final ou ficarem estocados. Ao ser realizado o pedido pelo cliente, as peças são retiradas do estoque e enviadas para a área do Manuseio, onde existe um pessoal responsável pelo seqüenciamento padronizado e inspeção final das peças em uma área denominada C.A.R.E. Com isso, as peças são enviadas para os clientes.

Ainda na área de pintura existe uma linha de pintura no piso inferior denominada Cabine de Reparos, dedicada para o retoque de peças com pequenos defeitos. Essa cabine é composta por uma linha, skids, berços e uma estufa d'água menor que a da linha principal, com capacidade para comportar três skids por vez. É bastante similar à linha principal do piso superior, diferenciando-se somente em relação ao tamanho da estufa, extensão da linha, finalidade e por não possuir um robô de flambagem.

4 MÉTODOS

O presente estudo visa analisar a viabilidade de uma oportunidade de melhoria identificada na área de pintura da Fábrica de Componentes Plásticos da GM de São José dos Campos.

4.1 Oportunidade

A pintura de todas as peças é realizada na linha principal do piso superior citada na descrição do processo no Capítulo 3. No entanto, devido ao mix de produção existe certa dificuldade de atender às especificações e peculiaridades de cada tipo de tinta. No geral, o fornecedor de tintas da GM afirma que as tintas utilizadas apresentam o mesmo comportamento e possuem uma mesma janela de cura, inclusive o esmalte Antracite. Porém, testes práticos já foram realizados com o Antracite e percebeu-se que esse esmalte tinha um menor tempo de secagem em relação ao das demais tintas, além disso, em um dos testes, o Antracite secou somente em alguns minutos mediante temperatura ambiente.

Na linha principal de pintura passavam todas as peças, inclusive as grades da S10 que eram pintadas de Antracite. Aliado ao fato já comentado sobre a secagem do Antracite estava a questão de que as grades S10 são constituídas de um plástico do tipo ABS, o qual não necessita de flambagem. Dessa forma, quando as grades S10 passavam pela linha principal, havia a necessidade de desativar os robôs de flambagem.

Com base nesse contexto, durante um *brainstorming* com a Liderança surgiu a proposta de transferir a pintura das grades de cor Antracite da S10 do processo de pintura da linha principal do piso superior para a Cabine de Reparos, localizada no piso inferior, sabendo-se que a Cabine de Reparos se encontrava ociosa em praticamente um turno de oito horas de trabalho. Além disso, embora a Cabine de Reparos não possua o robô de flambagem, essa etapa do processo é desnecessária para as grades da S10.

Antes de realizar essa alteração, deveria ser analisada a viabilidade da proposta de mudança do processo, assim como a possibilidade de realmente reduzir o tempo de permanência das grades Antracite dentro da estufa, conforme já havia sido relatado por meio de testes empíricos. Para tanto, o processo e as variáveis envolvidas deveriam ser estudados e adequados para a Cabine de Reparo, sendo este o objetivo deste trabalho.

4.2 Descrição do Trabalho

Primeiramente, foram realizados uma análise e um acompanhamento do processo de pintura em ambas as linhas, com o intuito de entender todas as etapas dos processos, além de identificar as variáveis que influenciavam no tempo de secagem das peças na estufa.

Através dessa visão geral, focou-se somente na análise para a pintura das grades Antracite da S10 na Cabine Reparos. Verificou-se que a ferramenta mais adequada para o estudo da possibilidade de redução do tempo de cura para o Antracite seria o Planejamento Experimental.

Vale ressaltar que o termo “tempo de cura” utilizado acima se refere ao tempo de secagem ou tempo de permanência dentro da estufa de tinta, já que a cura da tinta, de fato, só ocorre 72 horas depois que a peça sai da estufa, após ter permanecido na estufa segundo o tempo determinado pela janela de cura (Figura 25).

A Figura 26 apresenta o fluxograma das etapas de execução deste trabalho.

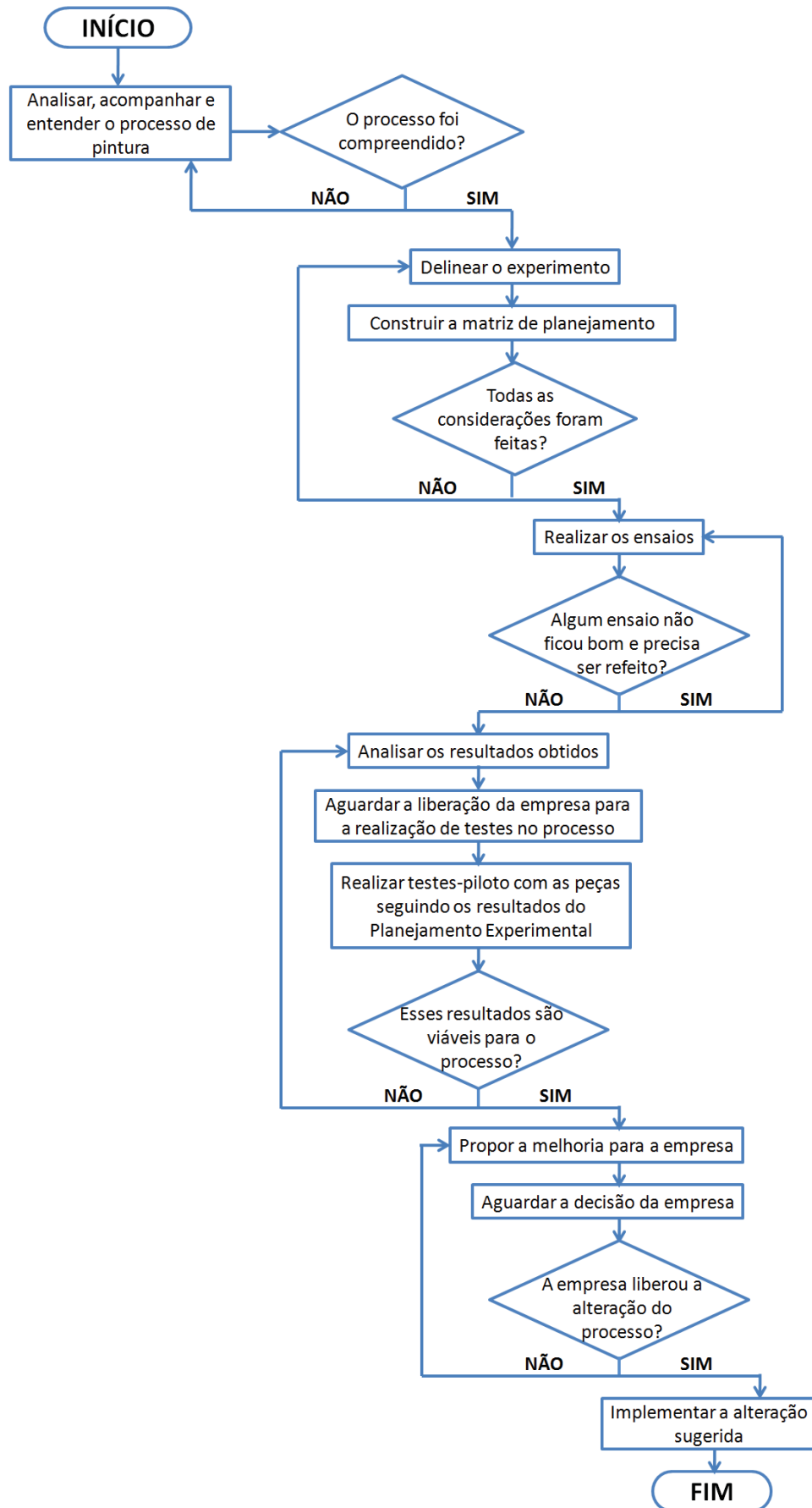


Figura 26 – Fluxograma das etapas a serem executadas neste estudo (Fonte própria)

4.3 Cabine de Reparos

No processo de pintura da Cabine de Reparos, apresentado na Figura 27, existe uma linha parcialmente automatizada, já que a entrada dos skids na cabine é controlada pelo próprio pintor por meio do acionamento de botões de comando que liberam a passagem do skid. Dentro da cabine existe espaço para três skids, os quais têm sua saída da cabine liberada pelo pintor. A partir do momento em que o skid sai da cabine, o mesmo segue automaticamente em direção à estufa, com uma velocidade determinada pelo passo do skid, o qual é programado pelo painel de controle da manutenção. Dentro da estufa (Figura 28), existem três posições, sendo que o tempo de permanência do skid em cada posição é determinado pelo passo do skid, ou seja, se o passo do skid for igual a 250 segundos, o skid permanecerá 250 segundos na primeira posição, então, seguirá para a segunda posição, onde permanecerá os mesmos 250 segundos parado e, assim, sucessivamente.

Ao sair da estufa, o passo do skid programado deixa de ser respeitado, pois a linha passa a ser comandada pelos botões de acionamento que os próprios pintores controlam. E, assim, o skid chega até a cabine de reparos, onde as peças são retiradas dos berços dos skids.

Na Cabine de Reparos trabalha-se com peças para retoque, ou seja, peças que possuam algum dano que pode ser resolvido somente através do lixamento da região danificada e uma pintura somente nessa região. A proposta seria aproveitar o tempo ocioso da Cabine de Reparo e realizar também a pintura das grades da S10.



Figura 27 – Linha de pintura da Cabine de Reparos (Material fornecido pela GM)



Figura 28 – Estufa de tinta da Cabine de Reparos (Material fornecido pela GM)

4.4 Peculiaridades da grade S10 de cor Antracite

4.4.1 Flambagem

A etapa de flambagem dentro de um processo de pintura de componentes plásticos automotivos tem como objetivo tratar a superfície do plástico. Devido à sua natureza química, os plásticos apresentam uma baixa energia de superfície (tensão superficial), o que dificulta a aplicação de diversos sistemas de pintura. Assim, uma alternativa comum e de baixo custo é a flambagem das peças. O processo de flambagem consiste na aplicação de uma chama sobre o substrato do componente durante alguns segundos. Essa temperatura incidente na peça gera o seu aquecimento provocando a “excitação” das moléculas do plástico e, conseqüentemente, ocorre a liberação de componentes químicos que reagem com a tinta, proporcionando a aderência da camada de tinta no plástico por meio de uma ligação química.

Assim, a flambagem visa inverter a polaridade da superfície da peça plástica, além de causar a abertura dos poros da peça, o que aumenta sua tensão superficial, garantindo uma maior aderência.

Como as grades S10 são compostas pelo polímero do tipo ABS, existe uma tinta específica para esse tipo de material. Essa tinta é diferenciada, já que possui em sua composição um solvente ativo que ataca o substrato da peça, promovendo a aderência da tinta sem a necessidade do processo de flambagem. Para o plástico PP, também utilizado na

constituição de alguns componentes da fábrica, isso não acontece, já que devido ao seu tipo de cadeia polimérica, o solvente ativo não consegue atacar o substrato da peça, sendo necessária a flambagem seguida da aplicação de um promotor de aderência e, somente assim, a fixação adequada da tinta é atingida, sem o risco de ocorrência de deslocamento. O robô de flambagem utilizado no processo de pintura da GM pode ser observado na Figura 29.

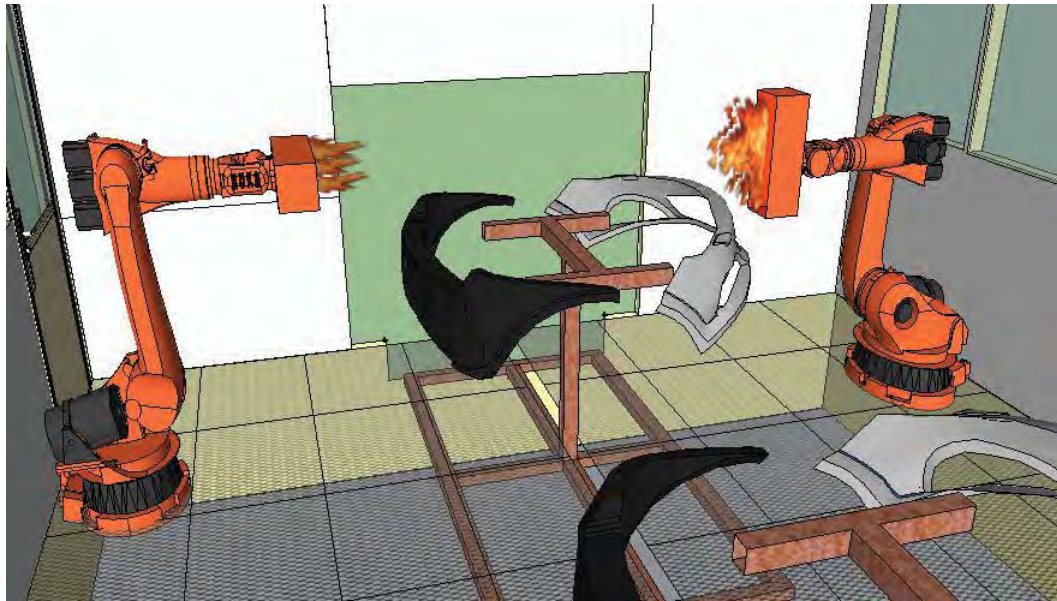


Figura 29 – Processo de flambagem das peças por robôs (Material fornecido pela GM)

4.4.2 Secagem

As grades da S10 (Figura 30) são pintadas com o esmalte poliuretânico catalisado cinza Antracite. Notou-se, empiricamente, que a secagem desse esmalte se dava em um tempo inferior quando comparado com as demais tintas, no entanto, o fornecedor de tintas não faz essa diferenciação ao especificar uma janela idêntica para todas as tintas e o Antracite.

Uma explicação para a secagem rápida do Antracite é, basicamente, em função do tipo de resina utilizada na sua composição, no balanceamento de solventes e tipos de cargas. A resina juntamente com o catalisador acelera o processo de secagem da tinta e, no caso do Antracite, também existem aditivos de secagem em sua composição, os quais aceleram ainda mais esse processo.

O balanceamento dos solventes é a mistura adequada de solventes compatíveis com a resina, como por exemplo, uma combinação entre solventes de nivelamento (que propiciam um alastramento favorável), solventes de evaporação, entre outros. Os solventes de evaporação possuem diversos estágios, sendo alguns deles mais leves, com um maior taxa de

evaporação, enquanto outros são mais pesados e possuem uma menor taxa de evaporação, embora normalmente os pesados tenham uma taxa de ebulição maior. O Antracite normalmente possui uma taxa de evaporação elevada, a qual depende do tipo de resina utilizada na composição.

Em relação aos tipos de cargas vale primeiramente definir que carga é semelhante a pigmento, já que ambos funcionam como um “algodão” para a absorção da resina, causando, assim, uma aceleração do processo de secagem. Para o Antracite, o tipo de carga presente na sua composição garante uma absorção mais rápida da resina, além de um efeito mais fosco na peça.



Figura 30 – Grade S10 pintada de esmalte Antracite (Material fornecido pela GM)

4.4.3 Aplicação do Antracite no substrato

A aplicação de tintas pode ser de diferentes maneiras, dependendo do substrato e tipo de tinta em questão. Existem sistemas de monocamada, dupla camada e tripla camada, como estão apresentadas na Figura 31.

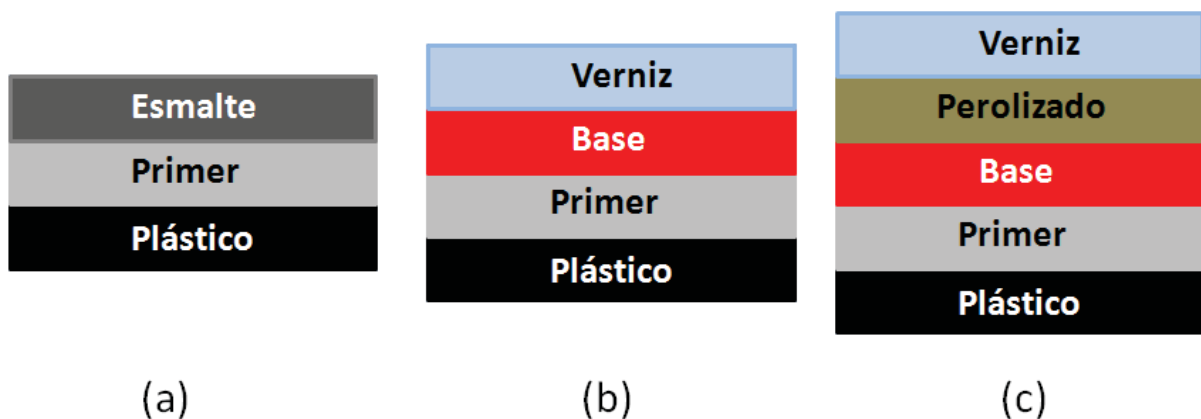


Figura 31 – Sistemas Monocamada (a), Dupla Camada (b) e Tripla Camada (c) (Fornecedor de tintas)

No caso da aplicação do Antracite nas grades de material ABS da S10, aplica-se o sistema de monocamada, no entanto, sem aplicação de promotor de aderência (*primer*) antes da aplicação do esmalte, como acontece para plásticos PP. A Figura 32 apresenta esse sistema.



Figura 32 – Sistema Monocamada de aplicação do Antracite (Fornecedor de tintas)

4.5 Aplicação das Técnicas de Planejamento de Experimentos

Para analisar a viabilidade de transferência do processo de pintura das grades Antracite da S10 para a Cabine de Reparos, assim como a análise de redução da janela de cura para esse esmalte foi utilizado o método Planejamento Experimental.

Primeiramente, foram identificadas as duas variáveis influentes no processo: a temperatura da estufa, em graus Celsius e, o passo do skid, em segundos. A temperatura da estufa se refere à temperatura programada no painel da estufa, ou seja, o *set point* da estufa. O passo do skid nada mais é do que a velocidade com que o skid percorre a linha, ou seja, o tempo de permanência do skid em cada uma das posições na linha. As variáveis de saída do processo são o tempo de secagem, em minutos, o teste de aderência, em GT e, o teste de brilho, adimensional.

Devido à quantidade de variáveis, foi utilizado o planejamento de experimentos do tipo 2^2 Fatorial com um Ponto Central, ou seja, foram utilizadas duas variáveis de entrada, temperatura (A) e passo do skid (B), cada uma delas com dois níveis, um alto (+) e outro baixo (-), além do ponto central (0). Assim, a matriz do projeto dos fatores de experimento é composta por cinco experimentos e três réplicas, valor considerado coerente em relação ao número de experimentos. A estrutura da matriz de experimentos pode ser observada na Figura 33. Os níveis para cada variável de entrada se encontram na Figura 34.

Experimentos	A	B	Resposta								
			Tempo de secagem (min)			Teste de Aderência (GT)			Teste de Brilho		
1	-	-									
2	+	-									
3	-	+									
4	+	+									
5	0	0									

Figura 33 – Matriz de Experimentos (Fonte própria)

A Temperatura (°C)	+	100 °C
	-	80 °C
	0	90 °C

(a)

B Passo do skid (s)	+	300 s
	-	100 s
	0	200 s

(b)

Figura 34 – Níveis alto e baixo e ponto central para a variável Temperatura (a) e Passo do skid (b) (Fonte própria)

Para cada ensaio, a temperatura da estufa foi selecionada no painel localizado na própria estufa e o passo do skid foi estabelecido no painel de controle da linha situado na plataforma de controle do pessoal da Manutenção. Com esses valores fixados enquanto passava uma sequência de grades S10 na linha da Cabine de Reparos, era realizada a pintura das grades com a cor Antracite e, em um determinado skid, era colocado o suporte contendo o Datapaq, o qual realizaria a análise térmica da peça desde o momento de entrada e aquecimento na estufa até o momento de saída e resfriamento da peça. O Datapaq e o seu suporte podem ser observados na Figura 35.



(a)



(b)

Figura 35 – Suporte para o Datapaq (a) e o *Memory Paq* e *Thermal Barrier* (Termopares) do Datapaq (b) (Fornecido pela GM)

Os dados coletados pelo Datapaq podem ser analisados por meio do software Oven Tracker que apresenta a curva térmica para a peça em relação à Temperatura (°C) versus o tempo (minutos). Um exemplo desse gráfico obtido com o Datapaq é apresentado na Figura 36. Assim, a variável de saída Tempo de Secagem era determinada com o auxílio de um cronômetro que era disparado no momento em que o skid entrava na estufa e parado quando o mesmo saía da estufa. Vale ressaltar que esse tempo deveria coincidir com o passo do skid

estipulado para esse experimento, porém existe uma defasagem entre o valor para o passo do skid fixado no painel de controle da manutenção e o valor real percorrido na linha, por isso, esse tempo foi cronometrado. Também vale lembrar que o valor obtido com o cronômetro pode conter um erro sistemático relacionado ao tempo de acionamento e parada do cronômetro durante a medição. Com esse tempo e tendo em mãos o gráfico obtido com o Datapaq é possível saber, para um determinado experimento, qual o tempo necessário de incidência de uma determinada temperatura na peça.

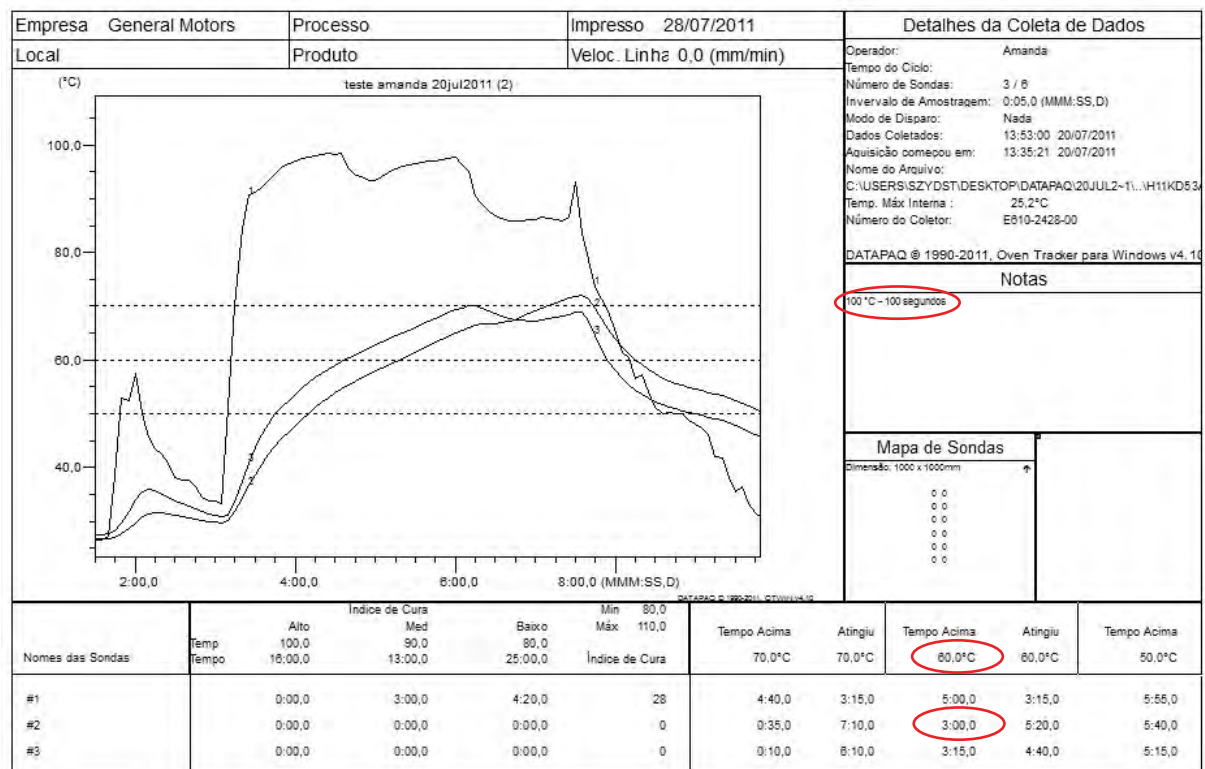


Figura 36 – Gráfico gerado pelo software do Datapaq representando o comportamento térmico da peça desde o momento de entrada na estufa até o momento de saída (Fornecido pela GM)

O gráfico presente na Figura 36, por exemplo, se refere ao experimento fixado em 100 °C para a Temperatura da estufa e 100 segundos para o Passo do Skid. Dessa forma, o tempo cronometrado seria de aproximadamente de cinco minutos (Tempo de Secagem) e uma incidência de temperatura na peça de 60 °C durante três minutos.

Depois que a peça saía da estufa, o gráfico do Datapaq era analisado e das duas grades contidas no skid em que o Datapaq foi colocado, aquela que apresentava o menor tempo de incidência da temperatura no substrato era separada para a realização de testes e obtenção das demais variáveis resposta. Foi realizado dessa forma, já que um dos testes a ser realizado, o

teste de aderência, é um teste destrutivo, em que a peça é sacrificada. E com o intuito de minimizar essa quantidade de refugo, a empresa preferiu adotar esse critério.

Assim, é realizado o Teste de Brilho antes do Teste de Aderência, sendo que este último é destrutivo e impossibilitaria a medição do brilho da peça. O valor para o Teste de Brilho é determinado com o equipamento Micro TRI-Gloss, também apresentado anteriormente na Seção 2.2.3. Para peças pintadas com o esmalte Antracite, o valor especificado pela GM para o brilho dessas peças deve estar contido entre 8 e 12 (valor adimensional) a 60°. A importância de se respeitar esse limite de especificação é no sentido de se evitar discordâncias em relação à aparência da peça, já que existem outros fornecedores na GM, além da fábrica de componentes plásticos, que também possuem peças de cor Antracite e, com isso, pode-se evitar diferenças de tom das cores no veículo S10 montado, garantindo, assim, a qualidade da pintura. Foi atribuído o critério de medição do brilho em três regiões diferentes da peça, sendo que eram realizadas duas medidas na mesma região. No entanto, o valor de brilho presente na matriz de planejamentos foi dado pela média das duas medidas de brilho da região interna inferior da peça, a qual é a região mais visível na S10 depois de montada, mostrada na Figura 37.

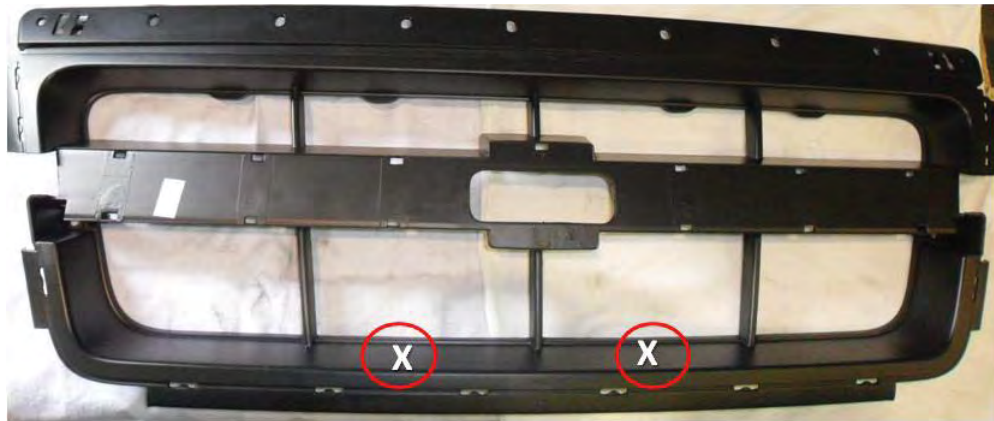


Figura 37 – Grade da S10 com destaque para região onde são tiradas duas medidas de brilho (Fornecido pela GM)

Durante o experimento, o brilho foi medido por dois operadores que alternaram ao longo dos experimentos dependendo da disponibilidade de cada um deles. A fim de verificar se existia uma diferença significativa entre os valores de brilho medidos por um operador ou outro, foram aplicados os conceitos de repetitividade e reprodutibilidade (R&R) para a classificação da adequabilidade do sistema de medição.

Durante o Teste de Aderência, a medição era realizada com o auxílio do equipamento de corte (unha de gato), espátula e fita adesiva e o valor, entre GT0 e GT5, era identificado de

acordo com o deslocamento evidenciado durante o arrancamento da fita, conforme foi apresentado na Sessão 2.2.2. Para a grade da S10 foi utilizado o critério de aderência também para três áreas diferentes da peça (superior, frontal, inferior interna), sendo que na região superior o teste foi aplicado em quatro pontos diferentes; na região frontal, em quatro pontos diferentes e; na região interna inferior, em dois pontos diferentes, como pode ser observado na Figura 38.

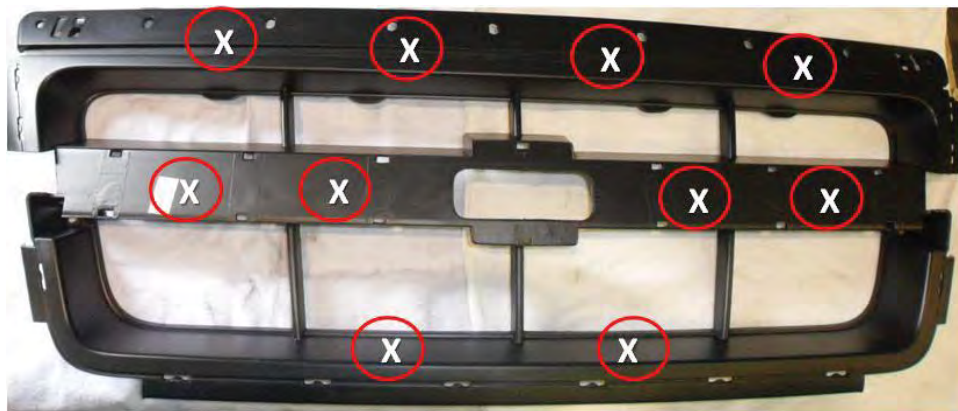


Figura 38 – Grade da S10 com destaque para os pontos onde é realizado o teste de aderência (Fornecido pela GM)

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a realização de todos os ensaios a matriz de experimentos foi preenchida, conforme mostra a Figura 39, em que a variável A é a Temperatura da estufa, em graus Celsius e, a variável B é o Passo do Skid, dado em segundos.

Os gráficos gerados pelo Datapaq e que contêm o comportamento térmico da peça durante o tempo cronometrado para a permanência do skid na estufa e denominado Tempo de Secagem se encontram no Apêndice A.

Experimentos	A	B	Resposta								
			Tempo de secagem (min)			Teste de Aderência (GT)			Teste de Brilho		
1	-	-	03:05	03:15	02:30	0	0	0	8,4	9,0	9,8
2	+	-	05:35	05:15	04:40	0	0	0	8,9	15,0	11,0
3	-	+	12:20	10:05	11:35	0	0	0	8,7	4,5	9,2
4	+	+	13:50	14:45	13:45	0	0	0	6,4	5,0	5,4
5	0	0	07:20	08:40	09:00	0	0	0	4,0	6,8	9,8

Figura 39 – Matriz de Experimentos contendo os resultados dos experimentos (Fonte própria)

Pode-se observar que, em relação ao Teste de Aderência, nenhum dos ensaios teve deslocamento, sendo todos classificados como GT0 e, assim sendo, não puderam ser graficamente analisados como as demais variáveis resposta. Além disso, no geral, todos os ensaios se mantiveram dentro das especificações para o Teste de Brilho, embora alguns ensaios tiveram valores extremos, como por exemplo, o valor 4,0 (peça mais opaca do que o especificado) e o valor 15,0 (peça possui mais brilho que o especificado).

Para verificar a adequabilidade do teste de brilho, os dois operadores, que haviam realizado as medições, participaram de outro experimento para a coleta de dados para a realização da verificação da adequabilidade do sistema de medição utilizado por meio dos conceitos de R&R. A Tabela 6 mostra os resultados obtidos com essa análise, em que cada um dos dois operadores mediu três vezes cada peça listada e em momentos diferentes, de modo a evitar a propagação de possíveis erros experimentais.

Tabela 6 – Medidas de brilho coletadas pelos Operadores 1 e 2 para os modelos listados (Fonte própria)

Modelo	Medições - Operador 1			Medições - Operador 2		
	1	2	3	1	2	3
Moldura Tr S10 LE Antr	9,3	8,9	9,0	9,0	9,0	9,1
Classic Dt Bege Desert	88,6	88,2	88,9	89,4	88,4	88,8
Corsa Dt Prata Polaris	89,1	89,6	89,5	89,9	89,5	89,6

Modelo	Medições - Operador 1			Medições - Operador 2		
	1	2	3	1	2	3
Classic Tr Cinza Aztec	88,5	87,7	87,3	89,4	89,4	89,8
Moldura Tr S10 LD Preto	89,2	90,2	90,9	88,7	88,3	90,2
Moldura Dt S10 LE Antr	8,7	9,1	9,5	8,9	9,5	9,5
Classic Dt Vermelho Chardon	89,0	88,9	89,3	90,1	89,7	89,7
Meriva Tr Branco	90,5	89,8	90,5	89,6	90,0	90,0
S10 Dt Prata Polaris	89,2	89,5	89,1	89,3	89,7	89,5
Zafira Dt Verde Hera	88,9	89,1	88,9	89,0	88,7	88,9

Com esses valores foi possível realizar os cálculos e obter a Tabela 7. Assim, foram calculados os demais índices presentes na Tabela 8.

Tabela 7 – Cálculo das médias e amplitudes dos valores de brilho para cada operador (Fonte própria)

Modelo	Operador 1		Operador 2	
	$\bar{x}_1$	R	$\bar{x}_2$	R
Moldura Tr S10 LE Antr	9,067	0,400	9,033	0,100
Classic Dt Bege Desert	88,567	0,700	88,867	1,000
Corsa Dt Prata Polaris	89,400	0,500	89,667	0,400
Classic Tr Cinza Aztec	87,833	1,200	89,533	0,400
Moldura Tr S10 LD Preto	90,100	1,700	89,067	1,900
Moldura Dt S10 LE Antr	9,100	0,800	9,300	0,600
Classic Dt Vermelho Chardon	89,067	0,400	89,833	0,400
Meriva Tr Branco	90,267	0,700	89,867	0,400
S10 Dt Prata Polaris	89,267	0,400	89,500	0,400
Zafira Dt Verde Hera	88,967	0,200	88,867	0,300

Tabela 8 – Valores calculados a partir da tabela 7 (Fonte própria)

$\bar{\bar{x}}_1$	$\bar{R}_1$	$\bar{\bar{x}}_2$	$\bar{R}_2$
73,16333	0,700	73,35333	0,590

Assim:

$$\bar{\bar{R}} = \frac{0,700 + 0,590}{2} = 0,645 \quad (20)$$

A partir da equação (14) e extraindo d_2 da Tabela 5, considerando $n=3$, já que foram três réplicas por operador, o valor de d_2 é igual a 1,693.

$$\hat{\sigma}_{repetitividade} = \frac{\bar{\bar{R}}}{d_2} = \frac{0,645}{1,693} = 0,38098 \quad (21)$$

Desse modo, a repetitividade do equipamento Micro TRI-Gloss é quantificada pela equação (22).

$$6\hat{\sigma}_{repetitividade} = 6 (0,38098) = 2,28588 \quad (22)$$

Para descobrir o valor referente à reprodutibilidade, faz-se uso das equações (15) e (16). Na equação (24), o valor de d_2 é igual a 1,128, retirado da Tabela 5 para $n=2$, já que os dados foram coletados por dois operadores.

$$R_{\bar{x}} = \bar{x}_{max} - \bar{x}_{min} = 73,35333 - 73,16333 = 0,19 \quad (23)$$

$$\hat{\sigma}_{reprod} = \sqrt{\left(\frac{0,19}{1,128}\right)^2 - \frac{(0,38098)^2}{10(2)}} = 0,1453 \quad (24)$$

O valor de R&R é apresentado na equação (25), a partir da equação (17).

$$R\&R = 6\sqrt{(0,38098)^2 + (0,1453)^2} = 2,4465 \quad (25)$$

Com a equação (18) e (19) obtém-se os cálculos apresentados nas equações (27) e (28).

$$\bar{\bar{x}} = \frac{73,16333 + 73,35333}{2} = 73,25833 \quad (26)$$

$$\hat{\sigma}_{total} = \sqrt{\frac{61720,326}{2(10)(2) - 1}} = 39,782 \quad (27)$$

$$\%R\&R = \frac{2,4465}{6(39,782)} 100 = 1,025\% \quad (28)$$

Como a porcentagem de variabilidade total dos dados devido ao instrumento, %R&R, deu 1,025%, ou seja, um valor menor do que 10%, segundo o Quadro 1, pode-se afirmar que o sistema de medição, utilizado para a obtenção de valores do brilho das peças, é adequado.

Dessa forma, com os valores presentes na Figura 39 e com o auxílio do *software Statistica*® 9.0 foi possível obter os resultados a serem apresentados a seguir. Primeiramente, serão apresentados os resultados referentes à variável resposta Brilho e, em seguida, os da variável Tempo de Secagem.

5.1 Variável resposta Brilho

A Tabela 9 foi gerada pelo *software* e mostra os resultados obtidos através da análise de variância (ANOVA) para a média da variável resposta Brilho. A Tabela 9 contém os fatores analisados, a soma dos quadrados (SS), graus de liberdade (df), quadrado médio (MS), a estatística F-Snedecor-Fisher e o valor-p que indica quais fatores e interações realmente exercem alguma influência no processo de pintura na Cabine de Reparos. Vale ressaltar que fatores com valor-p menor que 0,05 são influentes no processo. Assim, considerando a ANOVA pode-se dizer com 95% de confiança que o fator mais influente para a variável Brilho é o Passo do Skid, já que para esse fator $p = 0,020870$. A Figura 40 apresenta o Gráfico de Pareto que mostra que o fator Passo do Skid é o mais influente na variável Brilho ($p < 0,05$), seguido da interação entre os fatores Temperatura e Passo do Skid e o fator Temperatura, considerado, então, o menos influente.

Tabela 9 – ANOVA para a média da variável resposta Brilho (Software Statistica)

Fatores	SS	df	MS	F	p
Temperatura	1,4008	1	1,40083	0,279353	0,607624
Passo do Skid	36,4008	1	36,40083	7,259027	0,020870
Temperatura x Passo	19,5075	1	19,50750	3,890171	0,074233
Erro	55,1602	11	5,01456		
Total SS	112,4693	14			

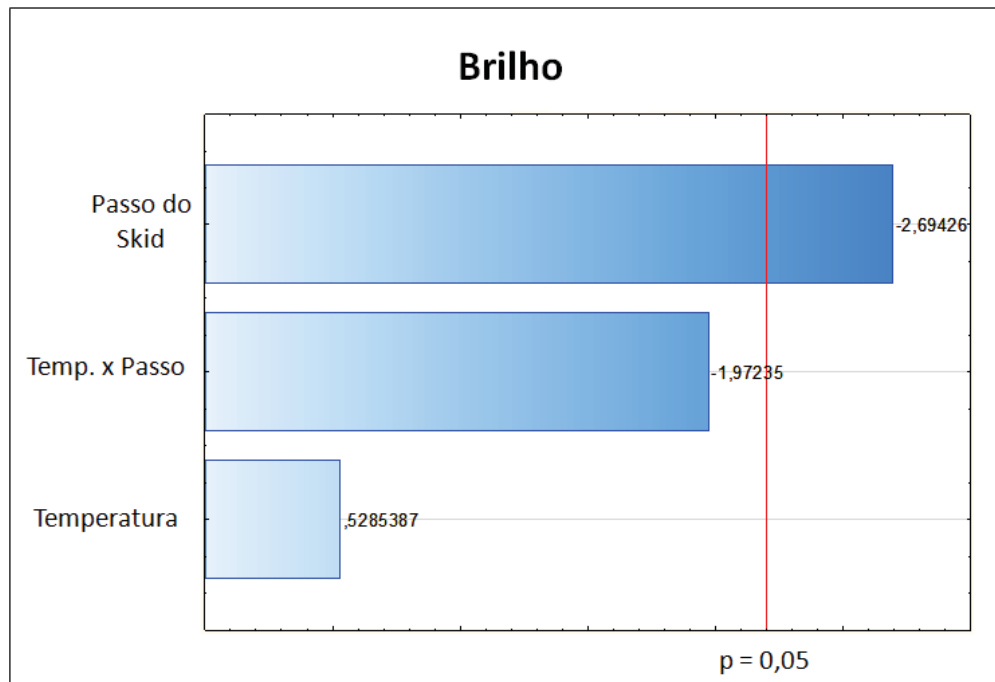


Figura 40 – Gráfico de Pareto apresentando os fatores mais influentes na variável resposta Brilho (*Software Statistica*)

As Figuras 41 e 42 são referentes aos efeitos de cada fator em relação à variável resposta Brilho.

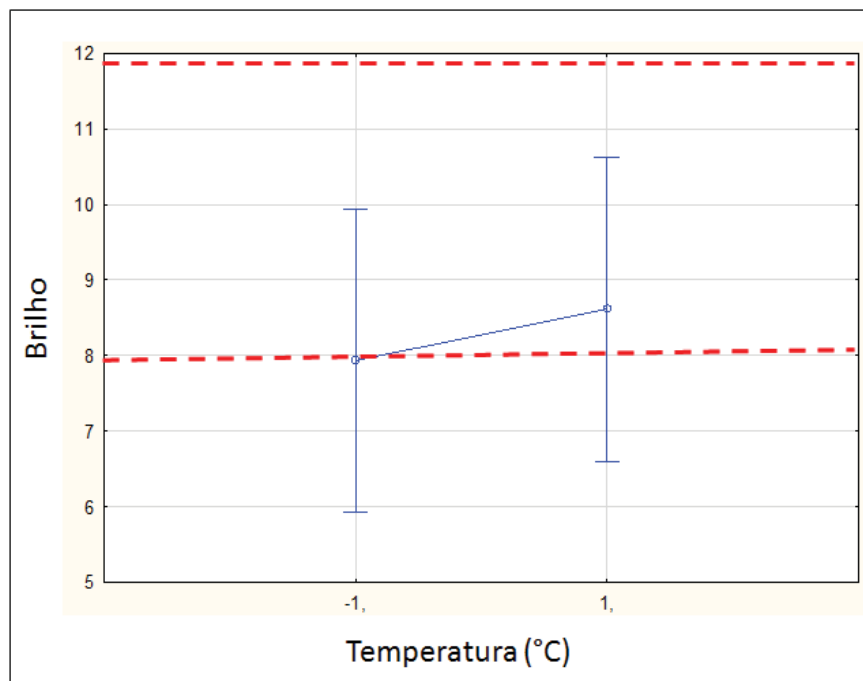


Figura 41 – Efeito do fator Temperatura da estufa sobre o Brilho (*Software Statistica*)

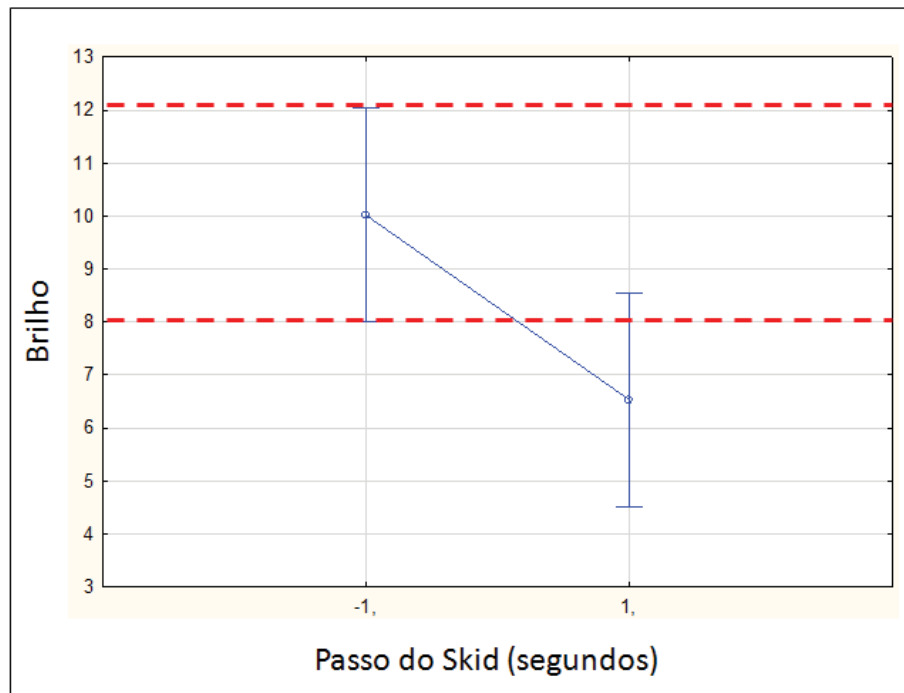


Figura 42 – Efeito do fator Passo do Skid sobre o Brilho (*Software Statistica*)

Pode-se notar uma maior amplitude e inclinação da curva referente ao efeito do Passo do Skid sobre o Brilho (Figura 42), sendo este fator mais significativo para o processo. Além disso, os gráficos de efeitos permitem avaliar também em quais níveis os fatores atingem o brilho determinado pelas especificações de qualidade da GM que para o caso do Antracite é de 8 a 12, sendo que esse limite de especificação foi reafirmado pela linha tracejada vermelha presente nas Figuras 35 e 36. Assim sendo, a Temperatura fica nesta faixa recomendável de brilho quando se encontra tanto no nível baixo (-1), referente a 80 °C, quanto no nível alto (1), igual a 100 °C; já o brilho, respeita a especificação citada quando se encontra no nível baixo (-1) equivalente a 100 segundos (maior velocidade da linha).

A Figura 43 representa o comportamento da Temperatura e do Passo do Skid em função do Brilho. Nota-se que o brilho é menor conforme a temperatura e o passo do skid são elevados, ou seja, quando ambos os fatores analisados se encontrarem no nível alto (+). Isso ocorre devido ao fato de que quanto mais tempo a peça permanecer na estufa, o que ocorre com um maior passo do skid e, quanto maior for a temperatura absorvida pela peça, maior será a queima da tinta da peça, fazendo com que ela fique com uma aparência opaca, ou seja, com menor brilho. A modelagem matemática para o cálculo do valor do brilho pode ser representada pela seguinte equação: $\text{Brilho} = 8,275 + 0,341667 \cdot x - 1,741667 \cdot y - 1,275 \cdot x \cdot y$.

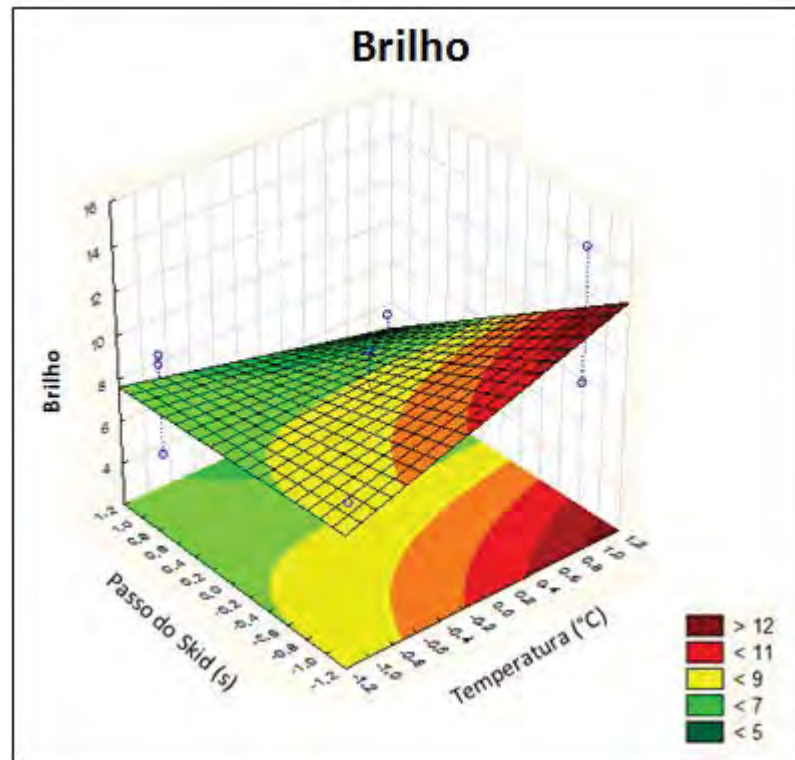


Figura 43 – Gráfico do comportamento da Temperatura e do Passo do Skid em relação ao Brilho (*Software Statistica*)

A Figura 44 mostra o gráfico de contorno para o mesmo comportamento apresentado pela temperatura e passo do skid em relação ao brilho da peça. Os gráficos das Figuras 43 e 44 mostram que os fatores são diretamente proporcionais.

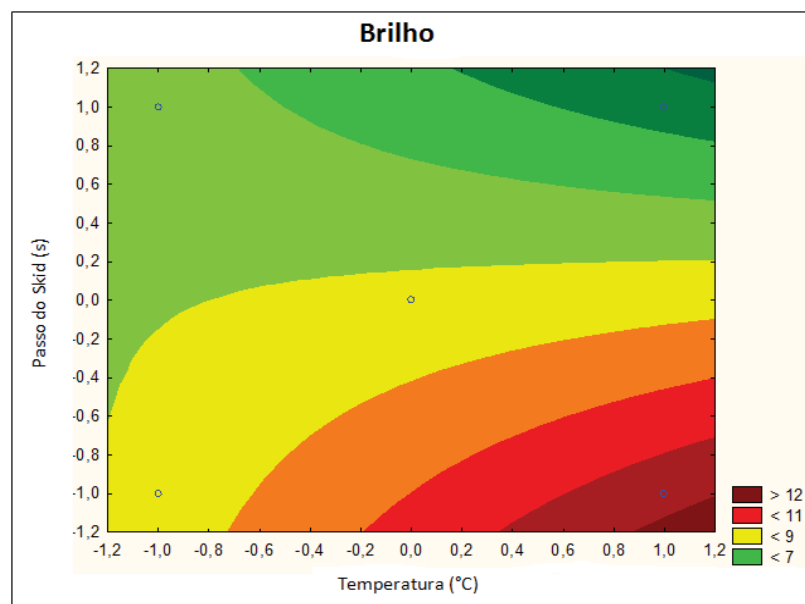


Figura 44 – Gráfico de contorno para o comportamento da Temperatura e do Passo do Skid em relação ao Brilho (*Software Statistica*)

5.2 Variável resposta Tempo de Secagem

Analogamente à análise realizada para a variável resposta Brilho, a seguir seguem os resultados relacionados à outra variável resposta denominada Tempo de Secagem. A Tabela 10 mostra a ANOVA para os fatores Temperatura, Passo do Skid e a interação entre eles em função do Tempo de Secagem.

Tabela 10 – ANOVA para a média da variável resposta Tempo de Secagem (Software Statistica)

Fatores	SS	df	MS	F	p
Temperatura	66752,1	1	66752,1	36,4095	0,000085
Passo do Skid	808602,1	1	808602,1	441,0466	0,0
Temperatura x Passo	918,7	1	918,7	0,5011	0,493733
Erro	20167,1	11	1833,4		
Total SS	896440	14			

A Tabela 10 mostra que ambos os fatores, temperatura e passo do skid, a um nível de confiança de 95%, são influentes no processo de pintura, já que possuem $p = 0,000085$ e $p = 0,0$, respectivamente, sendo valores-p menores do que 0,05. No entanto, como o passo do skid apresentou um valor-p igual a zero, este fator ainda é mais influente no Tempo de Secagem da peça. Prova disso está na Figura 45 que mostra que o passo do skid é mais influente do tempo de secagem do que a temperatura e a interação entre esses dois fatores.

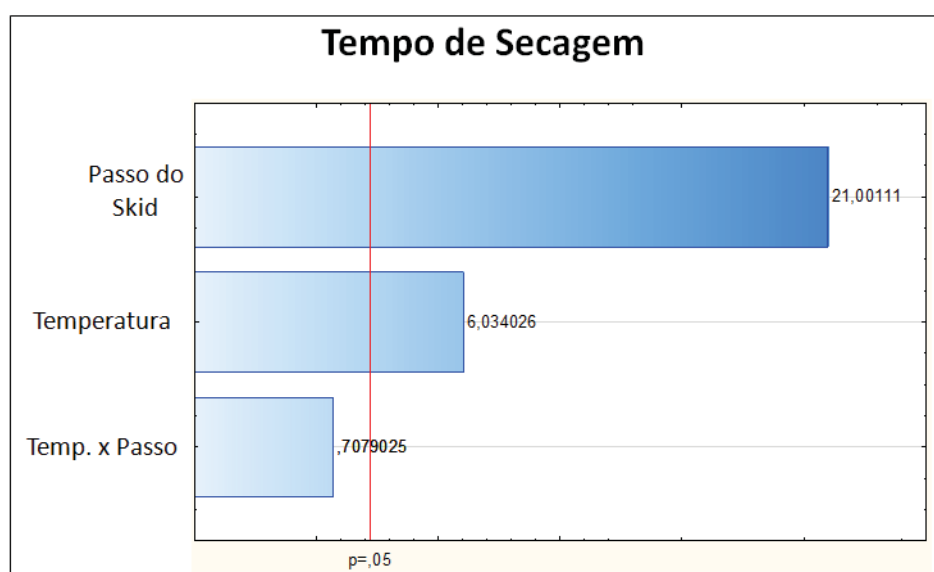


Figura 45 – Gráfico de Pareto apresentando os fatores mais influentes na variável resposta Tempo de Secagem (Software Statistica)

As Figuras 46 e 47 apresentam os efeitos de cada fator no Tempo de Secagem. Pode-se afirmar que o efeito do Passo do Skid no Tempo de Secagem é maior do que o efeito da Temperatura nessa mesma variável resposta. Isso pode ser observado pela inclinação e amplitude do efeito do passo do skid ser maior. Além disso, os gráficos mostram que para se ter um menor tempo de secagem da peça, a temperatura e o passo do skid devem ser estabelecidos nos seus níveis baixo (-), de 80 °C e 100 segundos (maior velocidade), respectivamente.

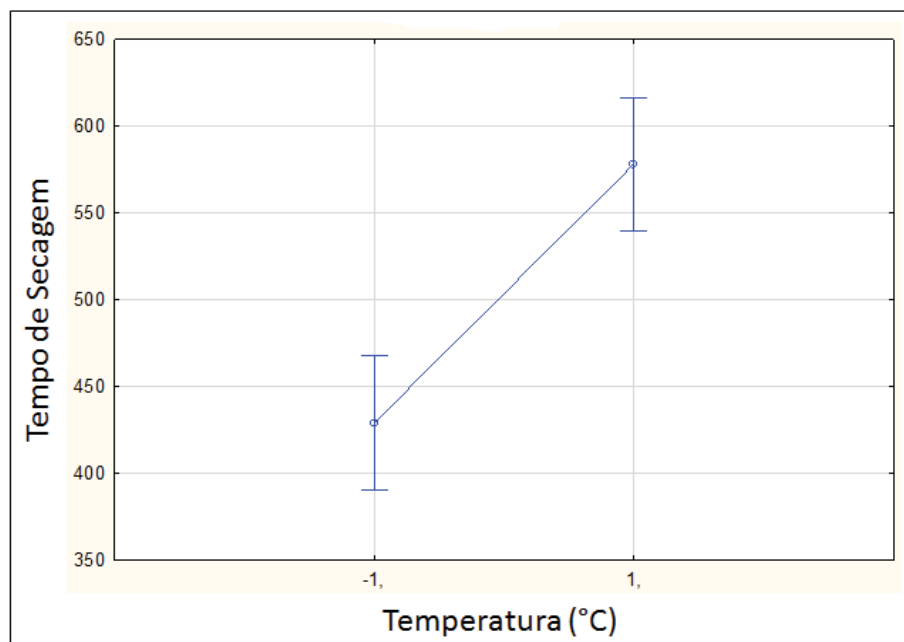


Figura 46 – Efeito do fator Temperatura da estufa sobre o Tempo de Secagem (*Software Statistica*)

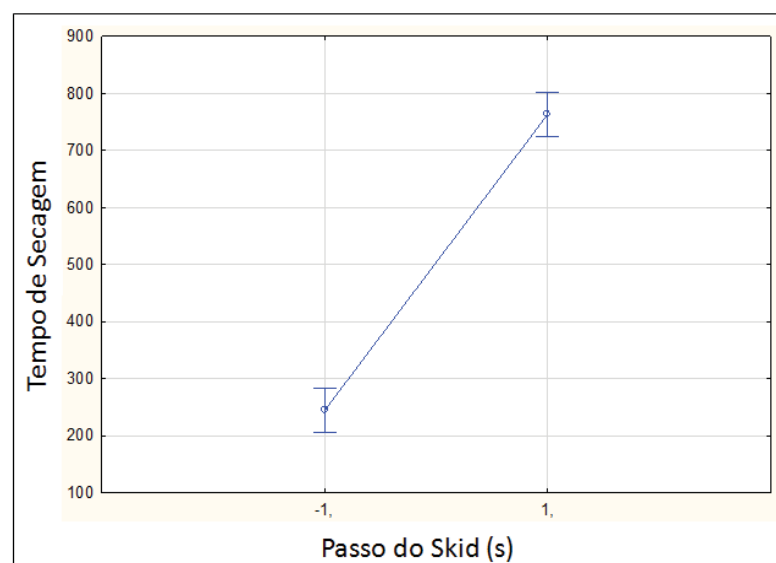


Figura 47 – Efeito do fator Passo do Skid sobre o Tempo de Secagem (*Software Statistica*)

A Figura 48 representa o comportamento da Temperatura e Passo do Skid em relação ao Tempo de Secagem das grades, inclusive a equação da modelagem matemática deste comportamento: $\text{Tempo de Secagem} = 503,75 + 74,5833 \cdot x + 259,5833 \cdot y + 8,75 \cdot x \cdot y$. O gráfico mostra que para reduzir o Tempo de Secagem das grades, que se trata do objetivo deste trabalho, a Temperatura e o Passo do Skid devem estar fixados nos seus níveis baixo (-), sendo assim, 80 °C e 100 segundos, respectivamente. O gráfico de contorno na Figura 49 apresenta esse mesmo resultado.

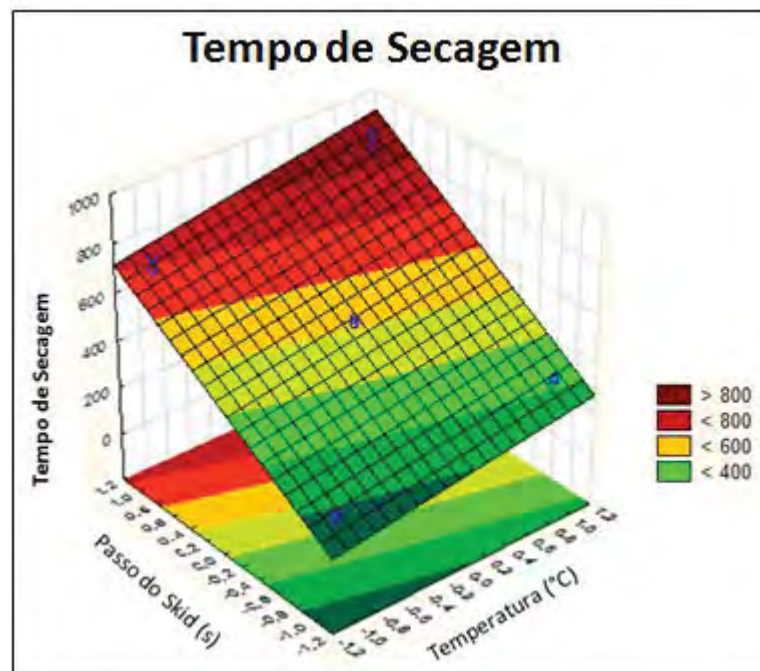


Figura 48 – Gráfico do comportamento da Temperatura e do Passo do Skid em relação ao Tempo de Secagem (Software Statistica)

Isso acontece porque quanto menor o valor do passo do skid, que neste caso foi de 100 segundos, maior a velocidade com que o skid percorre a linha, já que um passo de 100 segundos significa que o skid permanece em cada posição da linha durante 100 segundos e, assim, consequentemente, menor serão os tempos de permanência na estufa e de secagem, o que é lógico e condiz com a experiência prática na fábrica. No entanto, o fato de reduzir a temperatura e, com isso, atingir um menor tempo de secagem se contrapõe com o que é conhecido na prática, em que o conceito de diminuição do tempo de secagem estaria diretamente relacionado ao aumento de temperatura.

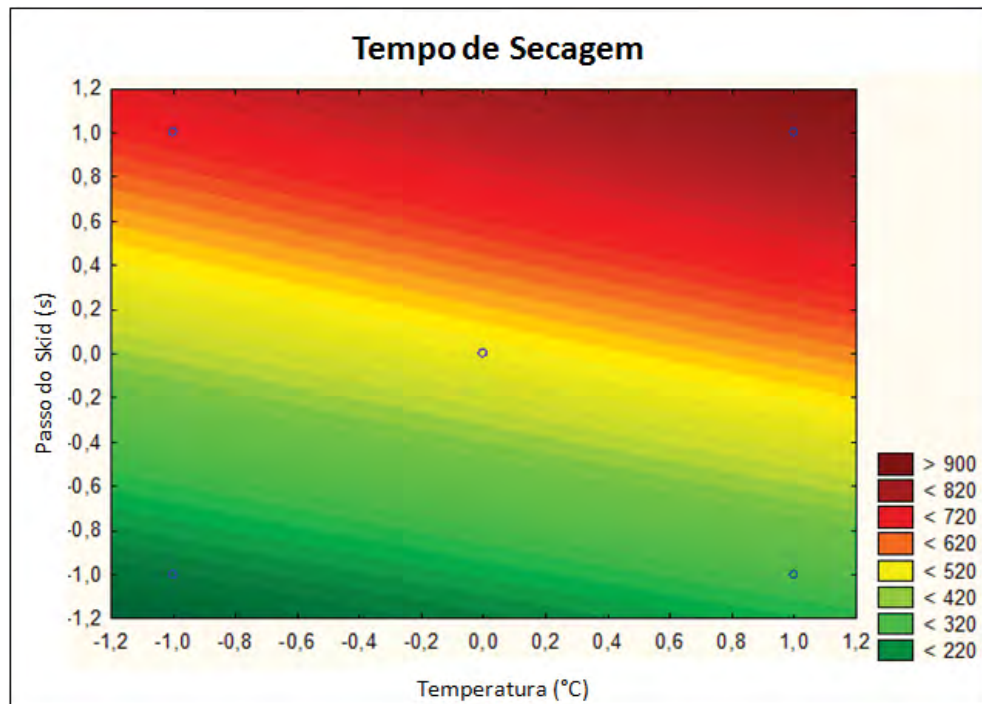


Figura 49 – Gráfico de contorno para o comportamento da Temperatura e do Passo do Skid em relação ao Tempo de Secagem (*Software Statistica*)

Além disso, deve-se avaliar paralelamente ao tempo de secagem qual o impacto que essas variações de temperatura e passo do skid teriam na qualidade do processo, o que justifica a importância de se analisar também a variável resposta brilho.

Assim, o resultado ótimo obtido para a redução do tempo de secagem de grades S10 Antracite é que o processo de pintura da Cabine de Reparos deve operar com uma temperatura da estufa de 80 °C e passo do skid de 100 segundos. Esses valores também são totalmente viáveis em relação aos critérios de qualidade exigidos pelas normas de especificação da GM, já que para esse ensaio (80 °C e 100 segundos) e os demais não ocorreu deslocamento da camada de tinta, já que o teste de aderência foi igual a zero, além de que analisando o brilho na Figura 43, pode-se observar que, para 80 °C e 100 segundos, o brilho permanece em uma faixa que contém o valor 9,0, o qual está dentro do limite especificado entre 8 e 12.

Desse modo, analisando o gráfico gerado pelo Datapaq para uma das réplicas para o ensaio fixado em 80 °C e 100 segundos (Figura 50), pode-se afirmar que a secagem do Antracite se dá com uma permanência de 3 minutos e 30 segundos a uma temperatura de 50 °C, sendo que o tempo total de permanência na estufa seria de aproximadamente 5 minutos. Isso prova que a janela de cura recomendada pelo fornecedor de tintas de que o Antracite deveria permanecer sob a incidência de uma temperatura constante de 90 °C durante 12 minutos está muito acima do necessário e pode ser otimizada.

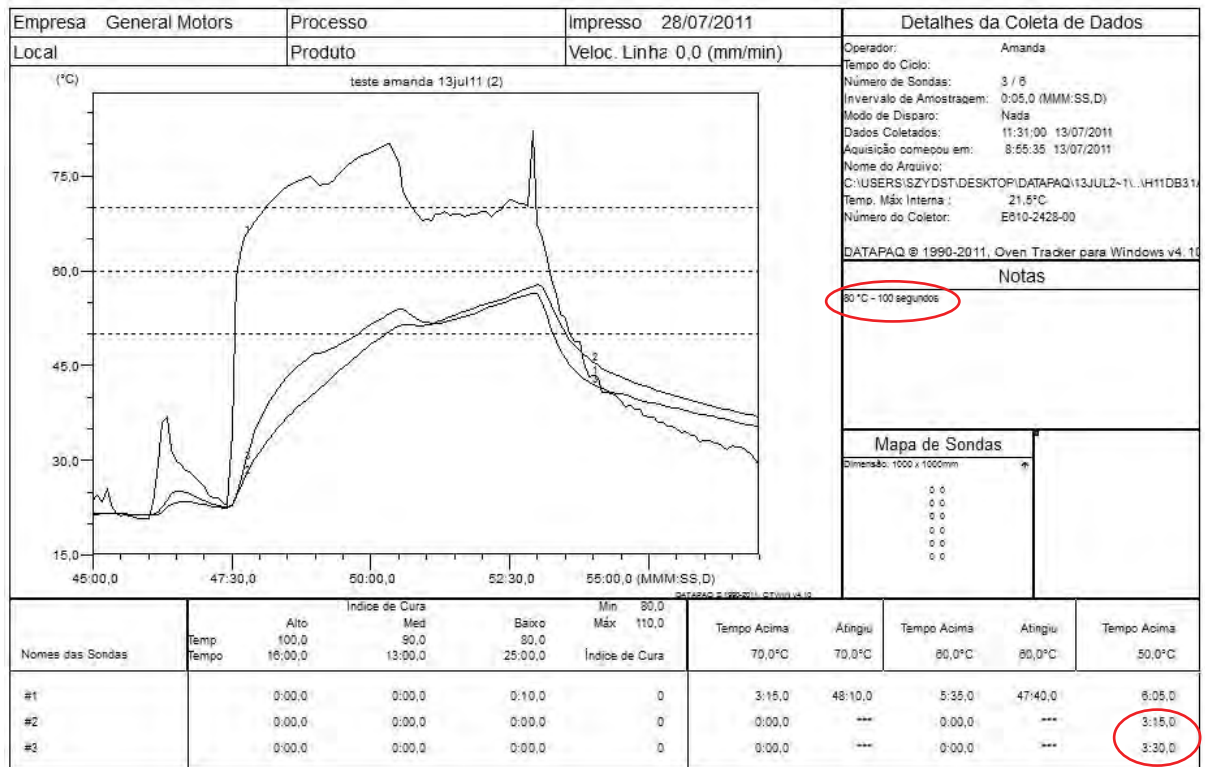


Figura 50 – Gráfico do Tempo versus Temperatura adquirida pela peça dentro da estufa de tintas da Cabine de Reparos (*Software Oven Tracker* do Datapaq)

Outro fator que comprovou que o Antracite possui uma secagem mais acelerada foi a experiência realizada no Laboratório de Análises Térmicas do Departamento de Engenharia de Materiais da FEG-UNESP, em que uma amostra obtida a partir da combinação em uma mesma proporção da tinta Antracite e Catalisador, tendo sido ambos os componentes fornecidos pela GM, foi analisada por análise de calorimetria diferencial (DSC). O intuito desta análise foi avaliar, de forma dinâmica, os eventos térmicos que ocorrem durante a cura deste sistema, simulando sua utilização no processo de pintura da fábrica. Desta forma, foi realizada uma corrida dinâmica em que a tinta foi submetida a uma temperatura de 30 a 150 °C sendo possível notar que, quando a tinta atingiu uma temperatura próxima a 60 °C, deu-se início a cura do sistema. Ainda, com base nos resultados provenientes da Figura 51, foi observado que a cura foi finalizada a temperaturas próximas a 120 °C, sendo evidenciado que a 90 °C, ocorreu uma mudança na cinética de cura (como observado pela derivada DDSC). Entretanto, é importante deixar claro que este estudo preliminar foi realizado em condições dinâmicas e, quando confrontado com estudos isotérmicos (como os realizados anteriormente com a utilização de fornos), é previsto diferenças nos tempos de cura (REZENDE; COSTA; BOTELHO, 2011).

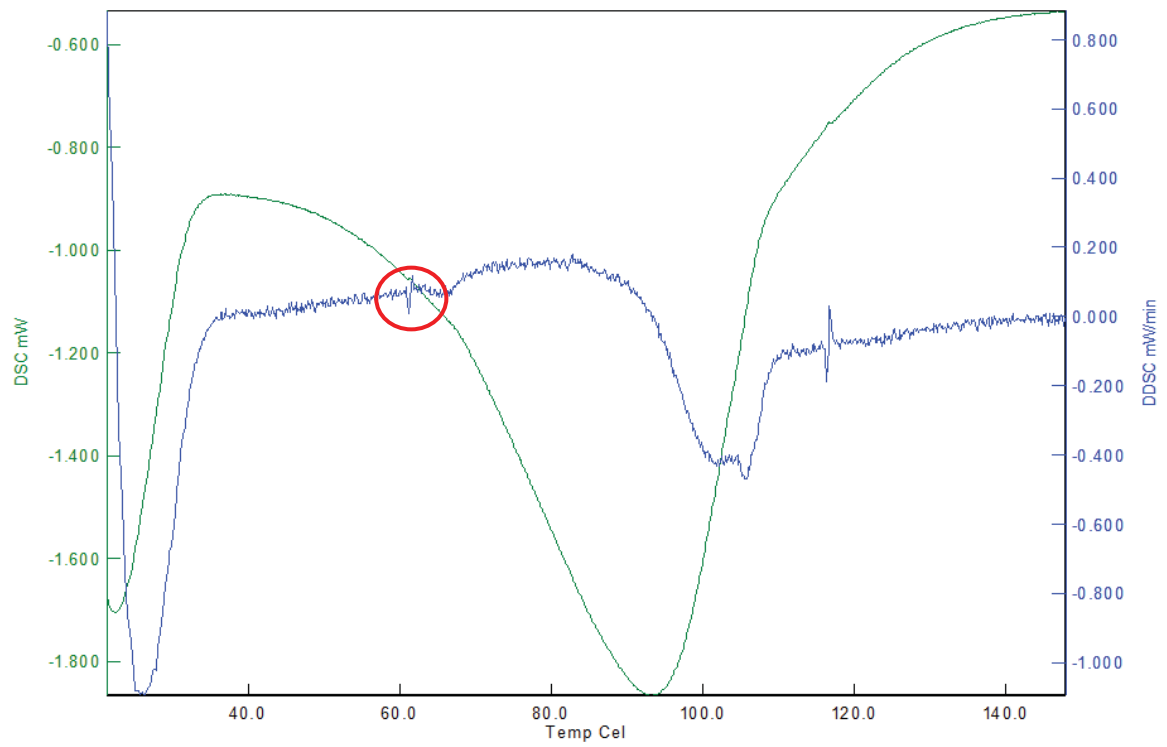


Figura 51 – Gráfico de DSC da corrida dinâmica de 30 a 150 °C para a amostra de Antracite e Catalisador (Fornecido pelo Laboratório de Engenharia de Materiais da FEG-UNESP)

6 CONCLUSÃO

É possível realizar a transferência do processo de pintura das grades S10 com a cor Antracite do processo de pintura da linha principal para o processo da Cabine de Reparos. Assim, utilizando o Planejamento de Experimentos foi possível partir de uma janela de cura para o esmalte Antracite de 12 minutos a 90 °C (como era na linha principal) para 50 °C a 3:30 minutos (na Cabine de Reparos). Sendo assim, foi comprovada a viabilidade de redução do tempo de secagem para o processo de pintura das grades Antracite para as variáveis do processo fixadas em uma Temperatura de *set point* da estufa de 80 °C e o Passo do Skid em 100 segundos, sendo que com isso, o tempo total de permanência da peça na estufa é de 5 minutos.

Com esses valores estabelecidos foi realizado um teste-piloto que atingiu com sucesso o esperado. A partir disso, a implementação deste projeto foi feita em Julho de 2011 e os ganhos foram evidentes. Em relação à Capacidade de Resposta, houve uma redução da necessidade de trabalho aos sábados principalmente nos meses em que a necessidade da pintura na linha principal se encontrava com a sua capacidade excedida. Com a alteração do processo para a Cabine de Reparos, a capacidade da linha principal foi otimizada, assim como a capacidade da pintura das grades Antracite aumentou na Cabine de Reparos, onde operava sob as novas condições de janela de cura, com um tempo muito inferior ao que era necessário na linha principal.

Em relação aos ganhos de Qualidade, como a temperatura da estufa na linha principal era fixada em 114 °C e na linha do piso inferior situada na Cabine de Reparos essa temperatura da estufa passou para 80 °C, o risco de *overbaking*, queima excessiva da peça, deixou de existir, garantindo, assim, o brilho controlado dentro do especificado pelas normas GM. Além disso, as grades S10 são constituídas de plástico ABS, o qual possui o risco de empenamento da peça mediante uma temperatura acima de 100 °C e, com o processo a 80 °C isso não ocorre.

No processo da linha principal, por ser totalmente automatizado e envolver diversas etapas mecanizadas, o pintor tem sua tomada de decisão limitada, sendo que quando a única medida a ser tomada quando uma peça virgem a ser pintada chega na cabine de pintura com algum tipo de dano é deixar de pintar essa peça. Já na Cabine de Reparos, por ser parcialmente mecanizada, o pintor tem uma maior autonomia de poder evidenciar algum dano na peça, retirar a peça da linha, fazer um lixamento ou alguma tentativa de recuperação da peça virgem e, assim, pintar a peça.

Quanto aos ganhos em relação à Custos, com a implementação do projeto houve a redução estimada em aproximadamente 30% no consumo de gás natural responsável por aquecer a estufa de tintas, já que teve a redução da temperatura da estufa para as grades. Além de que, com a redução da necessidade de horas extras, houve uma economia bastante significativa com mão-de-obra e utilidades (energia elétrica, água, gás natural, entre outros).

6.1 Sugestões para Trabalhos Futuros

Em continuidade ao presente estudo, propõe-se trabalhos que abordem a aplicação de Otimização com Múltiplas Respostas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALÁEZ-ALLER, R.; LONGÁS-GARCÍA, J. Dynamic Supplier Management in the Automotive Industry. **International Journal of Operations & Production Management**, [S.l.], v.30, n.3, 2010. p.312-335. Disponível em: < www.emeraldinsight.com/0144-3577.htm>. Acesso em: 23 out. 2011.

ANDRADY, A. L.; NEAL, M. A. Applications and Societal Benefits of Plastics. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, [S.l.], 2009. p.1977-1984. Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2873019/pdf/rstb20080304.pdf>>. Acesso em: 23 out. 2011.

BARROS, H. S. **Utilização de ferramentas da manufatura enxuta na melhoria dos resultados da GM Powertrain de São José dos Campos**. 2005. 101 f. Tese (Mestrado em Engenharia Automotiva) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005. Disponível em: < http://www.automotiva-poliusp.org.br/mest/banc/pdf/barros_hugo.pdf>. Acesso em: 20 out. 2011.

BOX, G. E. P.; HUNTER, W. G.; HUNTER, J. S. **Statistics for Experimenters: An Introduction to Design, Data Analysis, and Model Building**. New York: John Wiley & Sons, 1978. 653p.

BRITO, F. O.; DACOL, S. A Manufatura Enxuta e a Metodologia Seis Sigma em uma Indústria de Alimentos. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 28., 2008, Rio de Janeiro. **Anais ENEGEP**. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008_TN_STO_069_490_11749.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2011.

BYK, Additives & Instruments. Apresenta a empresa BYK e seus produtos, assim como uma descrição das aplicações dos produtos oferecidos. Disponível em: <<http://www.byk.com/en/instruments/appearance/gloss/micro-gloss.html>>. Acesso em: 12 nov. 2011.

CALEGARE, A. J. A. **Introdução ao Delineamento de Experimentos**. 1.ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2001. 130p.

CHEVROLET Web Site. Disponível em: < <http://www.chevrolet.com.br/Universo-Chevrolet/sobre-a-gm/a-companhia.html>>. Acesso em: 10 out. 2011.

CHIAVENATO, I. **Introdução à Teoria Geral da Administração**. 7.ed. Rio de Janeiro: Editoria Elsevier, 2003. 634p.

COSTA, A. F. B.; EPPRECHT, E. K.; CARPINETTI, L. C. R. **Controle Estatístico de Qualidade**. 2.ed. São Paulo: Editora Atlas, 2005. 334p.

Datapaq, a Fluke Company. 2011. Apresenta os produtos oferecidos pela empresa, além de uma breve explicação sobre o modo de usá-los e quais suas aplicações. Disponível em: <<http://www.datapaq.com/Datapaq/en-r0/>>. Acesso em: 12 nov. 2011.

FILEV, D. Applied Intelligent Control: Control of Automotive Paint Process. **IEEE**, 2002. Disponível em: < http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://62.49.17.3/~streetm/wcci_2002/FUZZ02/PDFFiles/Papers/4176.PDF>. Acesso em: 23 out. 2011.

HENDLER, M. D. C.; VACCARO, G. L. R. Projeto e Análise de Experimentos para a Melhoria da Fabricação de Alto-Falantes. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 27., 2007, Foz do Iguaçu. **Anais ENEGEP**. Disponível em: < http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2007_TR580439_9670.pdf>. Acesso em: 15 out. 2011.

van IWAARDEN, J.; van der WIELE, T.; WILLIAMS, R.; DALE, B. A Management Control Perspective of Quality Management: an Example in the Automotive Sector. **International Journal of Quality & Reliability Management**, [S.l.], v.23, n.1, 2006. p.102-112. Disponível em: < www.emeraldinsight.com/0265-671X.htm >. Acesso em: 19 out. 2011.

JURAN, J. M. **A Qualidade desde o Projeto**: os Novos Passos para o Planejamento da Qualidade em Produtos e Serviços. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004. 559p. Disponível em: <<http://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=pqjVAn0LrmMC&oi=fnd&pg=PR9&dq=qualidade+nas+empresas&ots=l-TAOWKOI2&sig=5LGaiIX2vXY0YiQIJOWHINgymR4#v=onepage&q=qualidade%20nas%20empresas&f=false>>. Acesso em: 12 out. 2011.

KOCHAN, A. Automotive Industry looks or Lean Production. **Assembly Automation**, [S.l.], v.18, n.2, 1998. p.132-137. Disponível em: < <http://www.emeraldinsight.com/journals.htm?articleid=874775&show=abstract>>. Acesso em: 20 out. 2011.

KONDA, R.; RAJURKAR, K. P.; BISHU, R. R.; GUHA, A.; PARSON, M. Design of Experiments to Study and Optimize Process Performance. **International Journal of Quality & Reliability Management**, [S.l.], v.16, n.1, 1999. p.56-71. Disponível em: <<http://www.emeraldinsight.com/journals.htm?articleid=840386&show=abstract>>. Acesso em: 19 out. 2011.

LI, J. Throughput Analysis in Automotive Paint Shops: a Case Study. **IEEE Transactions on Automation Science and Engineering**, [S.l.], v.1, n.1, 2004. p.90-98. Disponível em: < <http://www.engr.uky.edu/~jingshan/Publications/Journals/tase04.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2011.

LI, J.; BLUMENFELD, D. E.; MARIN, S. P. Manufacturing System Design to Improve Quality Buy Rate: an Automotive Paint Shop Application Study. **IEEE Transactions on Automation Science and Engineering**, [S.l.], v.4, n.1, 2007. p.75-79. Disponível em: < <http://www.engr.uky.edu/~jingshan/Publications/Journals/tase07.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2011.

LI, J.; BLUMENFELD, D. E.; HUANG, N.; ALDEN, J. M. Throughput Analysis of Production Systems: Recent Advances and Future Topics. **International Journal of Production Research**, [S.l.], v.47, n.14, 2009. p.3823-3851. Disponível em: < http://www.engr.uky.edu/~jingshan/Publications/Journals/ijpr09_future.pdf>. Acesso em: 23 out. 2011.

LI, J.; WANG, J.; ARINEZ, J.; BILLER, S. Product Sequencing with Respect to Quality in Flexible Manufacturing Systems with Batch Operations. **IEEE Transactions on Automation Science and Engineering**, [S.l.], 2010. Disponível em: < http://www.engr.uky.edu/~jingshan/Publications/Journals/tase10_5.pdf>. Acesso em: 23 out. 2011.

MAXWELL, J. **Plastics in the Automotive Industry**. 1.ed. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 1994. 201p. Disponível em: <http://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=v2-_PMsvIugC&oi=fnd&pg=PR10&dq=aotomotive+plastic+paint+shop&ots=XVKF3OzlLe&sig=V83uOJhDcvgh08ICNPx4uRXGqPY#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 23 out. 2011.

MONTGOMERY, D. C. **Design and Analysis of Experiments**. 5.ed. New York: John Wiley & Sons, 2001. 684p.

MONTGOMERY, D. C.; KUMAR, M.; ANTONY, J.; MADU, C. N.; PARK, S. K. Common Myths of Six Sigma Demystified. **International Journal of Quality & Reliability Management**, [S.l.], v.25, n.8, 2008. p.878-895. Disponível em: < www.emeraldinsight.com/0265-671X.htm>. Acesso em: 19 out. 2011.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Applied Statistics and Probability for Engineers**. 5.ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2011. 765p. Disponível em: <http://books.google.com.br/books?id=_f4KrEcNAfEC&pg=PA551&dq=design+of+experiments+montgomery&hl=pt-BR&ei=9pqZTtKYMkLk0QHRldm_BA&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=3&ved=0CDkQ6AEwAg#v=onepage&q=design%20of%20experiments%20montgomery&f=false>. Acesso em: 15 out. 2011.

MUNIZ Jr., J. **Modelo Conceitual de Gestão de Produção baseado na Gestão do Conhecimento: um Estudo no Ambiente Operário da Indústria Automotiva**. 2007. 150 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica – Pesquisa de Gestão e Otimização) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2007. Disponível em: < <http://www.feg.unesp.br/cegp/jorgemuniz/TeseMuniz/JMuniz%20TESE050407.pdf>>. Acesso em: 13 out. 2011.

NETO, B. B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Planejamento e Otimização de Experimentos**. 2.ed. Campinas: Editora da Unicamp, 1995. 299p.

OISHI, F. F. **Aplicação do Método de Taguchi em um Processo de Usinagem**. 2010. 75f. Tese (Graduação em Engenharia de Produção Mecânica) – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, UNESP, Guaratinguetá, 2010. 1 CD-ROM.

PEINADO, J.; GRAEML, A. R. **Administração da Produção: Operações Industriais e Serviços**. Curitiba: UnicenP, 2007. 750p.

PENTEADO, R. B. **Utilização de Técnicas do Planejamento de Experimentos na Otimização de um Processo de Torneamento da Superliga NIMONIC 80A**. 2011. 87f. Tese (Mestrado em Engenharia Mecânica na área de Gestão e Otimização) – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, UNESP, Guaratinguetá, 2011.

PIMENTA, C. D.; SILVA, M. B.; RIBEIRO, R. B.; RAMOS, A. W. Planejamento de Experimentos (DOE) aplicado no Processo de Têmpera e Revenimento de Arames de Aço SAE 9254. **Janus**, v.5, n.8, 2008. p.119-139. Disponível em: <<http://publicacoes.fatea.br/index.php/janus/article/viewArticle/366>>. Acesso em: 03 nov. 2011.

PUNNAKITIKASHEM, P.; LAOSIRIHONGTHONG, T.; ADEBANJO, D.; MCLEAN, M. W. A Study of Quality Management Practices in TQM and non-TQM Firms: Findings from the ASEAN Automotive Industry. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v.27, n.9, 2010. p.1021-1035. Disponível em: <www.emeraldinsight.com/0265-671X.htm>. Acesso em: 22 out. 2011.

REIS, A. C. C. **Implementação da Manufatura Enxuta na General Motors do Brasil: Avaliação do Desdobramento do Plano de Negócios na Planta S-10**. 2004. 151 f. Tese (Mestrado em Gestão e Desenvolvimento Regional) – Departamento de Economia, Contabilidade e Administração, Universidade de Taubaté, Taubaté, 2004. Disponível em: <http://www.ppga.com.br/mestrado/2003/reis-antonio_carlos_coutinho_dos.pdf>. Acesso em: 13 out. 2011.

Revista Química e Derivados. São Paulo, ed. n.490, Outubro 2009. Apresenta relatos de profissionais do setor químico e de seus derivados, sendo que uma parte é dedicada ao tratamento de plásticos. Disponível em: <<http://www.quimica.com.br/revista/qd490/abrafati/abrafati03.html>>. Acesso em: 12 nov. 2011.

REZENDE, M. C.; COSTA, M. L.; BOTELHO, E. C. **Compósitos Estruturais: Tecnologia e Prática**. São Paulo: Artliber Editora, 2011. 396p.

ROWLAND, H.; ANTONY, J. Application of Design of Experiments to a Spot Welding Process. **Assembly Automation**, v.23, n.3, 2003. p. 273-279. Disponível em: <<http://www.emeraldinsight.com/journals.htm?articleid=874905&show=abstract>>. Acesso em: 19 out. 2011.

RYNTZ, R. A.; YANEF, P. V. Coatings of Polymers and Plastics. New York: Marcel Dekker, Inc., 2003. 359p. Disponível em: <<http://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=oJnnZ8H38RsC&oi=fnd&pg=PP1&dq=automotive+plastic+paint&ots=p-VfQEctwl&sig=jX0Ui0EJecdUHGVPSSsu6ahw7cc#v=onepage&q=automotive%20plastic%20paint&f=false>>. Acesso em: 23 out. 2011.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. 2.ed. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2002. 747p.

SPAIN, P. L.; TRUOG, K. L. Dry Paint Transfer Product having High DOI Automotive Paint Coat. **Avery Dennison Corporation**, Pasadena, 1995. Disponível em: <<http://www.google.com.br/patents?id=yNgfAAAAEBAJ&printsec=description&zoom=4#v=onepage&q&f=false>>. Acesso em: 23 out. 2011.

SUBRAMANIAN, M. N. **The Basics of Troubleshooting in Plastics Processing: an Introductory Practical Guide**. Salem: John Wiley & Sons, Inc., 2011. 226p. Disponível em: <<http://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=9OWCSLm3Af8C&oi=fnd&pg=PR13&dq=automotive+plastic+ABS+properties&ots=L1ii4FgS8p&sig=eLmlS4u7skJhRKXH9Sctxuquog#v=onepage&q&f=false>>. Acesso em: 24 out. 2011.

THOZO, A. **Aplicação das Ferramentas da Qualidade em uma Indústria Automotiva: Estudo de Caso para a Redução das Falhas Elétricas na Linha de Montagem do Air Bag do Volante**. 2008. 67 f. Monografia (Graduação em Tecnologia em Eletrônica Modalidade Automação de Processos Industriais) – Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2008. Disponível em: < <http://www.daeln.ct.utfpr.edu.br/~tcc-daeln/TCC%C2%B4s2008/TCC%20Almir.pdf>>. Acesso em: 13 out. 2011.

WAEYENBERGH, G.; VANNIEUWENHUYSE, B.; PINTELON, L. A Model to determine the Cleanliness Measurement Interval in an Automotive Paint Shop. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v.10, n.1, 2004. p.37-46. Disponível em: < <http://www.emeraldinsight.com/journals.htm?articleid=843340&show=html>>. Acesso em: 19 out. 2011.

ZHAN, W. Reducing Simulation Time using Design of Experiments. **International Journal of Lean Six Sigma**, v.2, n.1, 2011. p.75-92. Disponível em: <www.emeraldinsight.com/2040-4166.htm>. Acesso em: 19 out. 2011.

APÊNDICE A – Gráficos de cada experimento gerados pelo Datapaq

