

O LEAN SIGMA APLICADO A UMA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA

Mariana Oliveira Alves da Fonte

MONOGRAFIA SUBMETIDA À COORDENAÇÃO DE CURSO DE ENGENHARIA
DE PRODUÇÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA PRODUÇÃO.

Aprovada por:

Prof. Rodrigo Martins Brum.

Eng. Murilo Ozanan Pereira

Prof. José Geraldo Ferreira

JUIZ DE FORA, MG - BRASIL
JUNHO DE 2008

FONTE, MARIANA OLIVEIRA ALVES DA

O Lean Sigma aplicado a uma indústria automobilística [Minas Gerais] 2008

XI, 51 p. 29,7 cm (Faculdade de Engenharia/UFJF, Graduação, Engenharia de Produção, 2008

Monografia - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia

1. Lean Sigma

I. UFJF

II. Título (série)

DEDICATÓRIA

Dedico essa monografia aos meus pais, por tornarem possível mais essa realização e a todos que estiveram ao meu lado ao longo destes anos de graduação, contribuindo de alguma forma para a minha formação profissional e pessoal.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por não ter me deixado desistir diante das inúmeras dificuldades enfrentadas nesses anos de graduação.

Aos meus pais por serem meu alicerce e me apoiarem em todas as minhas escolhas. Sem o suporte de vocês essa conquista não teria se realizado. E também por entenderem minha falta de tempo e todas as minhas ausências.

À minha amada avó pelo carinho e dedicação.

À minha irmã pelo companheirismo.

Às amigas de república pelos momentos compartilhados.

Ao grande amigo Gleriston pela constante ajuda nas pesquisas e coletas de material. E também por me incentivar e me proporcionar momentos memoráveis.

Aos amigos da Pintura, em especial ao Luciano Azevedo, Cláudio Avelino, Lenita Médici e ao Carlos Paiva por todos os ensinamentos, e ao Paulo Gandra pela oportunidade de estágio e de crescimento profissional.

Ao meu co-orientador Murilo, por todos os dados e informações disponibilizados, pela paciência e constante ajuda na elaboração deste trabalho e principalmente por todo o aprendizado proporcionado.

À Thaísa por todos os fins de semana e feriados de estudo ao longo desses anos de engenharia.

Ao meu orientador Rodrigo por toda a ajuda e confiança.

Ao professor José Geraldo por aceitar fazer parte da minha banca avaliadora.

Finalmente agradeço à Universidade Federal de Juiz de Fora pelo diploma de Engenheira de Produção.

Resumo da monografia apresentada à Coordenação de Curso de Engenharia de Produção como parte dos requisitos necessários para a graduação em Engenharia Produção.

O LEAN SIGMA APLICADO A UMA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA

Mariana Oliveira Alves da Fonte

Junho/2008

Orientadores: Rodrigo Martins Brum
Murilo Ozanan Pereira

Curso: Engenharia de Produção

Atualmente um dos grandes desafios das organizações em um mundo altamente globalizado e competitivo é manter processos e produtos padronizados visando atingir maior índice de qualidade e produtividade. Para atender esses objetivos são utilizados métodos de melhoria contínua. De todos os enfoques voltados para a qualidade e produtividade, a estratégia Lean Sigma concentra o que de melhor se fez nos últimos 50 anos. O Lean Sigma é uma poderosa metodologia para melhorar o desempenho através da eliminação do desperdício e das causas de defeitos nos processos produtivos (manufatura) e administrativos. Combina a estratégia baseada em tempo e o conjunto de soluções inerentes ao Lean com o processo cultural, organizacional e as ferramentas analíticas do Seis Sigma. Esta estratégia possibilita entregar resultados mais rápidos e melhores aos clientes, com menos desperdício, levando à excelência operacional. Após a explanação do tema através do referencial teórico, será apresentado o estudo de caso, realizado na Mercedes-Benz do Brasil Ltda., unidade de Juiz de Fora, visando à contextualização do tema.

Palavras-chave: Melhoria Contínua, Seis Sigma, Manufatura Enxuta, Produtividade.

Abstract of the monograph presented to Coordination of the Production Engineering Course as a partial fulfillment of the requirements for graduating in Production Engineering.

THE LEAN SIGMA APPLIED TO AN AUTOMOBILE INDUSTRY

Mariana Oliveira Alves da Fonte

June/2008

Advisor: Rodrigo Martins Brum

Murilo Ozanan Pereira

Course: Production Engineering

Nowadays one of the greatest challenges of organizations in a highly competitive and globalized world is to keep processes and products standardized aiming at the highest level of quality and productivity. In order to meet these objectives continuous improvement methods are utilized. Out of all the focus toward quality and productivity the Lean Sigma strategy concentrates the best that has been done over the topic for the past 50 years. Lean Sigma is a powerful methodology to improve the performance through eliminating waste and flow causes in the manufacturing process and in the administrative process as well. It combines time based strategy and the set of inherent solutions of Lean with the cultural process, organizational and the analytical tools of Six Sigma. Such strategy enables us to deliver faster and better results to clients with less waste leading to operational excellence. After the theme explanation through theoretical reference, a case study is presented accomplished at Mercedes-Benz do Brasil Ltda., Juiz de Fora plant which aims at theme contextualization.

Key-Words: Continuous Improvement, Six Sigma, Lean Manufacturing, Productivity.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01: O segredo do sucesso do Seis Sigma	7
Figura 02: Ciclo DMAIC	10
Figura 03: Diagrama de Causa e Efeito – Categorias 6M	11
Figura 04: Diagrama de Pareto	12
Figura 05: Exemplo de Histograma	13
Figura 06: Gráfico Seqüencial	13
Figura 07: Diagrama de Dispersão	14
Figura 08: Pilares do Sistema Toyota de Produção	17
Figura 09: Sete tipos de perda ou desperdícios em uma empresa	19
Figura 10: Pontos fortes e Riscos do Kaizen	24
Figura 11: Como o Seis Sigma e o Lean Manufacturing contribuem para a melhoria dos processos	25
Figura 12: Produção anual de automóveis no Brasil em milhares de unidades	27
Figura 13: Indústria automobilística brasileira em grandes números	28
Figura 14: Sistema de Gestão Daimler	32
Figura 15: Gráfico Defeitos/unidade - Área Branca	34
Figura 16: Mancha de Polimento em um capô de uma carroceria	35
Figura 17: Estatísticas de manchas de polimento no BPA Pintura	36
Figura 18: Distribuição das manchas de polimento por área da carroceria	37
Figura 19: Média de manchas no Finish Montagem Final – Antes Lean Sigma	37
Figura 20: Gráfico de Pareto: Falhas de Pintura - Área Branca	38
Figura 21: Diagrama de Causa e Efeito	39
Figura 22: Quadrante de idéias	39
Figura 23: Quadro de Ações Lean Sigma	40
Figura 24: Pareto das Falhas de Pintura identificadas na Área Branca após o Lean Sigma	42
Figura 25: DPU Área Branca após as ações Lean Sigma	44
Figura 26: Estatísticas de manchas após o Lean Sigma no Finish da Montagem Final	46

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 01: Relação entre o nível sigma e a quantidade de defeitos por milhão	8
Tabela 02: Patrocinadores / Especialistas do Seis Sigma	15
Tabela 03: Pontos Fortes do Seis Sigma e do Lean Manufacturing	25
Tabela 04: Comparativo entre Processos Antes e Após o Lean Sigma	45
Tabela 05: Resultados do Projeto Lean Sigma	48

ÍNDICE DE FOTOS

Foto 01: CLC Coupé	30
Foto 02: Vista aérea da fábrica da Mercedes-Benz em Juiz de Fora	31
Foto 03: Processo de Aplicação de Verniz	33

SUMÁRIO

ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE TABELAS	viii
ÍNDICE DE FOTOS	ix
Capítulo I - INTRODUÇÃO	1
1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1
1.2. OBJETIVOS.....	1
1.3. JUSTIFICATIVAS	1
1.4. ESCOPO DO TRABALHO OU CONDIÇÕES DE CONTORNO	1
1.5. METODOLOGIA	2
Capítulo II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. QUALIDADE	3
2.1.1. CUSTOS DA QUALIDADE	4
2.1.2. QUALIDADE E PRODUTIVIDADE	5
2.2. SEIS SIGMA	5
2.2.1. METODOLOGIA SEIS SIGMA	7
2.2.2. MÉTODO DMAIC	9
2.2.3. FERRAMENTAS DA QUALIDADE	11
2.2.3.1. Estratificação	11
2.2.3.2. Diagrama de Causa e Efeito	11
2.2.3.3. Diagrama de Pareto.....	11
2.2.3.4. Histograma	12
2.2.3.5. Gráfico Seqüencial.....	13
2.2.3.6. Brainstorming.....	14
2.2.3.7. Diagrama de Dispersão	14
2.2.4. EQUIPES SEIS SIGMA	15
2.3. SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO	15
2.3.1. OS SETE TIPOS DE DESPERDÍCIOS.....	19
2.3.1.1. Desperdício de Superprodução.....	20
2.3.1.2. Desperdício por Espera	20
2.3.1.3. Desperdício por Transporte.....	20
2.3.1.4. Desperdício de Processamento	20

2.3.1.5. Desperdício por Movimentos desnecessários	21
2.3.1.6. Desperdício por Produzir Produtos Defeituosos.....	21
2.3.1.7. Desperdício por Estoque.....	22
2.3.2. PRINCÍPIOS DA MANUFATURA ENXUTA	22
2.3.3. KAIZEN	23
2.4. LEAN SIGMA.....	24
Capítulo III – O LEAN SIGMA APLICADO À MERCEDES-BENZ DO BRASIL.....	27
3.1. A INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA NO BRASIL	27
3.2. HISTORICO DA DAIMLER	28
3.3. DAIMLER NO BRASIL.....	29
3.4. O SETOR DE PINTURA	32
3.5. ESTUDO DE CASO: LEAN SIGMA - DMAIC.....	34
3.5.1. Definição	35
3.5.2. Medição e Análise	35
3.5.3. Etapa de Melhoria	40
3.5.3.1. Coleta de Dados no Ponto 7 – Finish Montagem Final.....	41
3.5.3.2. Alteração da Temperatura do Secador.....	41
3.5.3.3. Teste Verniz Progloss IV.....	42
3.5.3.4. Lavagem do sino ESTA Verniz	42
3.5.3.5. Nivelamento dos critérios de avaliação de falhas.....	43
3.5.3.6. Novos materiais e meios de produção	44
3.5.3.7. Definição de um novo processo	45
3.5.4. Controle.....	46
Capítulo IV – CONCLUSÃO.....	48
BIBLIOGRAFIA	50

Capítulo I - INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

No mercado global e competitivo de hoje, a redução de custos e a obtenção de melhores índices de produtividade e qualidade se tornaram vitais para a sobrevivência das organizações. Neste contexto, a utilização da metodologia Lean Sigma contribui para alcançar esses objetivos propiciando melhoria contínua de processos.

O Lean Sigma, portanto, é uma poderosa metodologia para melhorar o desempenho através da redução e eliminação do desperdício, da variabilidade e das causas de defeitos nos processos produtivos e administrativos. Para empresas que querem se manter competitivas no mercado, a implantação dessa metodologia e aplicação de suas ferramentas torna-se prioridade.

1.2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é apresentar a metodologia Lean Sigma, a sua utilização em uma indústria automobilística e os benefícios da sua aplicação. Para isso será apresentado um estudo de caso realizado no setor de Pintura da Mercedes-Benz do Brasil Ltda, Unidade Juiz de Fora, Minas Gerais.

1.3. JUSTIFICATIVAS

Para acompanhar o atual ambiente empresarial em constante transformação, torna-se essencial ter pensamentos e ações voltados para a melhoria contínua, enfim, desenvolver uma cultura com base nela. Nesse cenário, o conhecimento da metodologia Lean Sigma é de suma importância para o engenheiro de produção, que estará em constante contato com esse ambiente dinâmico e com a necessidade de realização de melhorias em um curto espaço de tempo.

A motivação inicial para a escolha do tema foi o interesse em aprofundar o conhecimento sobre o assunto. Esse interesse surgiu devido a participação da autora em um projeto Lean Sigma durante o estágio realizado.

1.4. ESCOPO DO TRABALHO OU CONDIÇÕES DE CONTORNO

O presente trabalho abordará uma metodologia estratégica resultante da integração entre o Seis Sigma e o Lean Manufacturing. Esta metodologia é adequada à solução de todos os tipos de problemas relacionados à melhoria de processos e produtos. O estudo de caso foi realizado no setor de Pintura da Mercedes-Benz do Brasil Ltda., unidade Juiz de Fora, Minas Gerais.

1.5. METODOLOGIA

Para a elaboração deste trabalho, inicialmente foi realizada uma pesquisa bibliográfica sobre os temas: Qualidade, Manufatura Enxuta (Sistema Toyota de Produção) e Seis Sigma. Esta pesquisa foi realizada em livros, apostilas, artigos e na Internet visando o aprofundamento e o levantamento do estado da arte do tema em estudo.

Paralelamente à revisão bibliográfica, houve a participação em um projeto Lean Sigma na empresa onde foi realizado o estudo de caso. Essa participação permitiu a triagem e coleta dos dados necessários para o desenvolvimento do estudo de caso. Os dados coletados foram analisados para a posterior demonstração das conclusões e resultados obtidos com o estudo de caso.

Posteriormente foi realizado um levantamento sobre as informações mais relevantes da empresa para que fosse realizada a descrição da mesma.

Capítulo II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. QUALIDADE

Com o crescente nível de exigência dos consumidores o conceito de qualidade vem evoluindo e sua utilização nas empresas é feita de forma a atender as expectativas e desejos de seus clientes, influenciando na sobrevivência da mesma no atual mercado altamente competitivo. As organizações têm procurado utilizar técnicas, métodos e sistemas que permitam aumentar sua competitividade através do fator diferencial da qualidade.

A qualidade de bens e serviços é amplamente reconhecida tanto nas organizações privadas como públicas, como uma estratégia, um diferencial competitivo capaz de reduzir custos, tornar eficientes os processos produtivos e gerar lucros.

Conforme Slack et. al. (2002), atualmente há uma crescente consciência de que bens e serviços de alta qualidade podem dar a uma organização uma considerável vantagem competitiva. Boa qualidade reduz custos de retrabalho, refugo e devoluções e, mais importante, boa qualidade gera consumidores satisfeitos. Segundo este mesmo autor, ainda não existe uma definição de qualidade que seja clara e única. Muitos autores conceituam qualidade de diferentes formas e dimensões.

De forma simples e direta, Juran (1988) conceitua qualidade como adequação ao uso. Já para DEMING (2003), a qualidade é definida de acordo com as exigências e necessidades dos consumidores. Como estas sempre mudam, as especificações de qualidade devem sempre ser alteradas.

De acordo com Campos (1992) “um produto ou serviço de qualidade é aquele que atende perfeitamente, de forma confiável, de forma acessível, de forma segura e no tempo certo às necessidades do cliente”. Com isso o autor afirma que a qualidade é resultante de uma série de fatores que vão desde um perfeito projeto do produto até a entrega dele para o cliente, que deve ser feita no prazo certo, no local certo e na quantidade certa.

Para Crosby (1999) qualidade é a conformidade com os requisitos, ou seja, um produto ou serviço de qualidade é aquele que atende às medidas e características de acordo com o modelo-padrão.

Segundo Montgomery *et. al* (2003), a qualidade pode ser determinada por meio da interação. A qualidade do projeto seria dada nos diferentes graus ou níveis de desempenho, de confiabilidade, de serviço e de função que são resultados de decisões deliberadas de engenharia e gerência. Já a qualidade de conformidade na redução sistemática de variabilidade e a eliminação de defeitos até que cada unidade produzida seja idêntica e livre de defeito.

Moura (1999) define qualidade como sendo a conformidade entre o que se produz com aquilo que o cliente quer, de modo que suas expectativas sejam superadas e sua satisfação alcançada.

Apesar de diferentes definições para qualidade, existe uma convergência de conceito entre todos os autores: a satisfação das necessidades dos consumidores. Uma convergência nada mais que sensata. Para uma empresa de nada adianta otimizar processos, aumentar a qualidade de produtos e serviços, acrescer valor agregado, atender às especificações de projeto e melhorar uma série de características se não conseguir atender às necessidades e expectativas de seus clientes, perdendo mercado para seus concorrentes.

2.1.1. CUSTOS DA QUALIDADE

O controle e monitoramento de processos implicam em custos que vão ser pagos de uma maneira fácil, uma vez que a qualidade agrega valor.

Alguns custos da qualidade estão associados com evitar a má qualidade e outros surgem após a má qualidade ocorrer. Esses custos podem ser:

- Custos de Prevenção: são todos os custos associados com as ações tomadas para garantir que o processo forneça produtos e serviços com qualidade (treinamento de pessoal, revisão de projetos de produtos, mudanças em processos produtivos e monitoramento de processos e outras atividades que visem melhorar a qualidade e evitar defeitos).
- Custos de avaliação: são aqueles custos provenientes de atividades para detecção de defeitos e identificação dos produtos que não estão de acordo com as especificações antes que estes sejam enviados aos clientes. Inclui custos de inspeção, testes e outras atividades de controle de qualidade.
- Custos de falhas internas: são os custos com produtos que se apresentam defeituosos ainda na fase de produção e precisam ser sucateados ou consertados. Esses custos englobam os de produzir os itens sucateados, os custos de consertar, retrabalhar e retestar os produtos defeituosos.
- Custos de falhas externas: são aqueles custos que ocorrem pela chegada de produtos defeituosos nas mãos dos clientes. Incluem custos de garantia, custos de devolução ou recolhimento, perda de negócio e freguesia, entre outros. Falhas externas são mais custosas que falhas internas e devem ter alta prioridade quando causam custos adicionais ao cliente. Esses custos ao cliente afetam sua futura decisão de compra.

A utilização de métodos de controle de processos, melhoria de desempenho e redução de desperdícios contribui para a diminuição dos custos e conseqüentemente para o

fortalecimento das empresas, maximização dos lucros e manutenção da competitividade no mercado.

2.1.2. QUALIDADE E PRODUTIVIDADE

Conte e Durski (2002) definem produtividade como a relação entre os recursos empregados e os resultados obtidos. Nesse sentido, a produtividade é vista como eficiência e é conseguida através da otimização do uso dos recursos empregados (inputs) a fim de maximizar os resultados desejados (outputs). Sob um ponto de vista mais amplo, produtividade não é somente obter o máximo de eficiência “fazendo certo as coisas”, mas atingir o máximo de eficácia “fazendo as coisas certas”. É necessário ir além do conceito básico de resultado obtido / recurso empregado e entender os fatores determinantes que conduzem à melhoria da produtividade.

Dessa forma, fica fácil entender e localizar a qualidade no conceito de produtividade, seja ele restrito ou amplo. A qualidade deve estar sistematicamente e tecnicamente aplicada em qualquer processo, presente nos recursos e no resultado, bem como na atividade de conversão desses recursos em resultado.

Diminuir o desperdício e produzir com qualidade significa aumento de produtividade. A falta de qualidade no desempenho significa que mais recursos ou recursos de melhor qualidade serão necessários para produzir uma quantidade específica de resultado, com qualidade. Retrabalho, refugo e desperdício são fatores que requerem recursos adicionais, traduzidos em menor produtividade e menos riqueza para a empresa.

2.2. SEIS SIGMA

Em resposta às necessidades impostas pela globalização e para se adaptarem a um ambiente cada vez mais competitivo, as empresas estão buscando novas formas de aprimoramento de seus processos e produtos. Nesse contexto, o Seis Sigma representa uma iniciativa que visa melhorar os processos e produtos existentes ou, ainda, criar novos processos e produtos robustos buscando a satisfação de clientes e acionistas. (ARIENTE et al., 2005).

O Seis Sigma é uma estratégia gerencial disciplinada e altamente quantitativa, que tem como objetivo aumentar expressivamente a performance e lucratividade das empresas, por meio da melhoria da qualidade de produtos e processo e do aumento da satisfação de clientes e consumidores. Ele nasceu na Motorola, em 15 de janeiro de 1987, com o objetivo de tornar a empresa capaz de enfrentar seus concorrentes, que fabricavam produtos de qualidade superior a preços menores. A partir de 1988, quando a Motorola foi agraciada com o Prêmio Nacional da Qualidade Malcolm Baldrige, o Seis Sigma tornou-se conhecido como o programa responsável pelo sucesso da organização. Com isso, outras empresas

passaram a utilizar com sucesso o programa e a divulgação dos enormes ganhos alcançados por elas gerou um crescente interesse pelo Seis Sigma (WERKEMA, 2006).

Para Rotondaro (2002), o Seis Sigma é uma metodologia estruturada que incrementa a qualidade por meio da melhoria contínua dos processos envolvidos na produção de um bem ou serviço, levando em conta todos os aspectos importantes de um negócio. O objetivo do Seis Sigma é conseguir a excelência na competitividade pela melhoria contínua dos processos.

Conforme Mickel Harry et. al. (HARRY,1998 apud ROTONDARO,2002), o Seis Sigma é um processo de negócio que permite às organizações incrementar seus lucros por meio da otimização das operações, melhoria da qualidade e eliminação de defeitos, falhas e erros.

A metodologia Seis Sigma, em sua essência, consiste na adoção de um conjunto de técnicas comprovadas e na capacitação de um quadro de líderes da empresa, conhecidos como Black Belts, para que cheguem a um alto nível de eficiência na aplicação dessas técnicas. Empresas com sólidos programas Seis Sigma conseguem fazer produtos e serviços melhores, mais baratos e de forma mais rápida, uma vez que a metodologia contribui para prevenir defeitos, encurtar o ciclo de operações e reduzir custos.

Assim, o Seis Sigma deve ser baseado nos conhecimentos dos clientes e nos principais indicadores de desempenho de processo que preencham esses requisitos, pois alinha as necessidades da empresa e do cliente com as necessidades do indivíduo, levando a resultados que beneficiam todos. Identificar a característica crítica de qualidade que afeta o cliente é a base para o sucesso de qualquer iniciativa Seis Sigma. A ligação entre o Seis Sigma e o modo de operar do processo geralmente determina a distância e a profundidade das melhorias do desempenho. Tanto a melhoria do processo do negócio quanto o Seis Sigma pretendem desenvolver soluções focadas em eliminar as causas-raiz dos problemas de desempenho do negócio, sem mudar radicalmente os processos já existentes ou a estrutura organizacional. Operar em um nível mais alto de qualidade não só resulta em clientes mais contentes, mas também economiza dinheiro, reduzindo o desperdício e o retrabalho. (FIGUEIREDO,2007)

O desempenho Seis Sigma minimiza os custos pela redução ou eliminação de atividades que não agregam valor ao processo e maximiza a qualidade de saída dos procedimentos para se obterem lucros em níveis esperados pelos acionistas. Do ponto de vista estratégico, o foco do Seis Sigma é alinhar a organização com as necessidades e requisitos de mercado e obter melhorias reais de qualidade e rentabilidade. Operacionalmente, o objetivo é colocar o produto ou serviço de acordo com os requisitos críticos do cliente, reduzindo as variações dos processos.

É possível identificar cinco vantagens competitivas básicas que as empresas alcançam com a conclusão de projetos desta natureza, segundo MENEZES (2003):

“a qualidade como vantagem competitiva demonstra que a organização é capaz de fazer as coisas certas no tempo adequado, evitando perdas e retrabalho. A velocidade como vantagem competitiva permite à empresa produzir mais rapidamente seu produto/serviço. A vantagem competitiva da confiabilidade gera a fidelização de clientes. A vantagem competitiva da flexibilidade permite alterações rápidas e eficazes, mantendo seus padrões de qualidade e prazo. A vantagem competitiva do custo traduz a capacidade que a empresa possui de tornar as coisas mais baratas.”

O Seis Sigma parece não envolver nada novo: são usadas ferramentas estatísticas conhecidas há anos na busca da eliminação de defeitos em todos os processos da empresa. No entanto, apesar de as ferramentas do Seis Sigma não serem novidade, sua abordagem e a forma de implementação são únicas e muito poderosas, o que explica o sucesso do programa. A figura a seguir apresenta os principais elementos responsáveis pelo sucesso do Seis Sigma.



Figura 01: O segredo do sucesso do Seis Sigma

Fonte: Werkema (2004).

2.2.1. METODOLOGIA SEIS SIGMA

Sigma é uma letra grega utilizada pela estatística para definir o desvio-padrão de uma população. Mede a variabilidade ou distribuição dos dados. Nível de qualidade Seis Sigma significa que a variação do processo está contida seis vezes nos requisitos do cliente. Usado para indicar quanto dos dados insere-se nos requisitos do cliente. Quanto maior o nível sigma do processo, melhores os produtos, serviços e satisfação dos requisitos do cliente – ou menor o número de defeitos (ARIENTE et al.,2005).

A meta do Seis Sigma é chegar muito próximo de zero defeito, erro ou falha. A tabela abaixo ilustra e compara o índice de defeitos para cada nível sigma.

Tabela 01: Relação entre o nível sigma e a quantidade de defeitos por milhão

Nível da Qualidade	Defeitos por milhão (ppm)	Custo da não-qualidade (percentual do faturamento da empresa)
Dois Sigma	308.537	Não se aplica
Três Sigma	66.807	25 a 40%
Quatro Sigma	6.210	15 a 25%
Cinco Sigma	233	5 a 15%
Seis Sigma	3,4	<1%

Fonte: Werkema (2004)

A metodologia Seis Sigma trata-se de um modo de reduzir a variação do processo e, conseqüentemente, o valor do sigma. Se o sigma for alto, as taxas de falhas ou defeitos são elevadas, se ele for baixo, as falhas ou defeitos são raras. Iniciado pelo conhecimento da necessidade do cliente, baseia-se em dados e fatos e na utilização de ferramentas estatísticas, que viabilizam a coleta, o processamento e a disposição da informação de forma que o conhecimento assim gerado possa ser utilizado para identificar as causas responsáveis pelos problemas (causas raízes). Então, as causas raízes são identificadas e validadas e ações são tomadas para minimizar ou eliminá-las. A manutenção do ganho alcançado é controlada através do acompanhamento do desvio-padrão das principais características escolhidas.

Falar em Seis Sigma significa reduzir a variação no resultado entregue aos clientes numa taxa de 3,4 falhas por milhão de oportunidades ou 99,99966% de perfeição. É uma nova forma de se medir o quanto um produto é bom. Se um produto possui este nível, isso nos diz que sua qualidade é excelente e que a probabilidade de produzi-lo com defeitos é extremamente baixa. Devido a esses dados é fácil perceber como as organizações podem ser afetadas tanto nos setores operacionais e estratégicos com a sua aplicabilidade.

Segundo Pande, Neuman e Cavanagh (2001), alguns dos vários benefícios que o Seis Sigma pode trazer às empresas são:

- mudança cultural;
- redução de custos;
- melhoria de produtividade;
- aumento na participação de mercado;
- retenção de clientes;
- redução de tempo de ciclo;
- redução de defeitos;
- desenvolvimento de produto/serviço.
- controle.

A filosofia que sustenta o Seis Sigma é a da melhoria contínua e pode ser aplicada a empresas de todos os tamanhos, em qualquer ramo de prestação de serviços ou de manufatura, seja de capital público ou privado. Melhorar um processo, reduzindo a sua variabilidade, poderá trazer grandes benefícios para uma organização, por meio da redução dos custos de falhas internas e externas que caracterizam a má qualidade.

2.2.2. MÉTODO DMAIC

Muitos modelos de melhorias têm como referência o ciclo do PDCA (Plan-Do-Check-Act.), originalmente concebido por Deming. A filosofia desse ciclo é sua aplicação contínua, ou seja, a última etapa de um ciclo determina o início de um novo ciclo. Na estratégia Seis Sigma o ciclo DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve e Control*) tem as mesmas características. Esse ciclo é formado pelas seguintes etapas:

- **Definir (Define):** nesta fase é definido o escopo do projeto. Ela consiste em definir claramente qual o efeito indesejável de um processo que deve ser eliminado ou melhorado. É fundamental que haja uma relação clara com um requisito especificado do cliente e que o projeto seja economicamente vantajoso (ROTONDARO, 2002).
- **Medir (Measure):** nessa etapa ocorre a medição do processo. É necessário medir com precisão o desempenho de cada etapa do processo, identificando os pontos críticos e passíveis de melhoria. Nesta etapa são aplicadas as ferramentas estatísticas que medem o desempenho dos processos, permitindo a visualização do estado atual dos mesmos, para a definição das metas de aprimoramento. Esta etapa é fundamental para que, no futuro, possamos saber se obtivemos sucesso nos projetos de aprimoramento (ROTONDARO, 2002).
- **Analisar (Analyze):** Uma vez coletados, os dados são então analisados. A intenção é transformar dados brutos em informações que expliquem o processo, incluindo a identificação das principais causas dos defeitos ou problemas. Analisar os resultados das medições permite identificar as “lacunas”, ou seja, determinar o que falta nos processos para atender e encantar os clientes. A busca da causa-raiz dos problemas leva ao desenvolvimento de hipóteses e à formulação de experimentos, visando à eficácia dos processos. Esta etapa é crítica, pois define qual é a causa, para que atuemos nela e, não, nas suas conseqüências (ROTONDARO, 2002).
- **Melhorar (Improve):** essa é a fase em que são feitas melhorias no processo existente. Os dados estatísticos são traduzidos em dados do processo e a equipe põe a mão na massa, modificando tecnicamente os elementos do

processo, atuando sobre as causas raízes. É nessa fase que as melhorias se materializam no projeto, onde a equipe se interage com as pessoas que executam as atividades, sendo, portanto, uma fase crítica. É essencial testar as soluções implementadas (ROTONDARO, 2002). Nesta etapa, a empresa pode avaliar quais mudanças foram benéficas e se uma outra série de mudanças é necessária.

- **Controlar (Control):** Se um processo está sendo desempenhado em um nível previsto e desejado, ele está sob controle. Esta última etapa é a parte de sustentação à metodologia do Seis Sigma. O processo é monitorado para assegurar que não ocorram alterações inesperadas. O objetivo do passo Controlar é perpetuar os conhecimentos e as melhorias conquistadas durante a aplicação da metodologia DMAIC. São atividades desta fase: realizar efetivamente o plano de implementação, documentar o novo sistema, treinar os envolvidos, monitorar o sistema, estender o conhecimento e as melhorias conquistadas, avaliar os ganhos e celebrar a conquista.

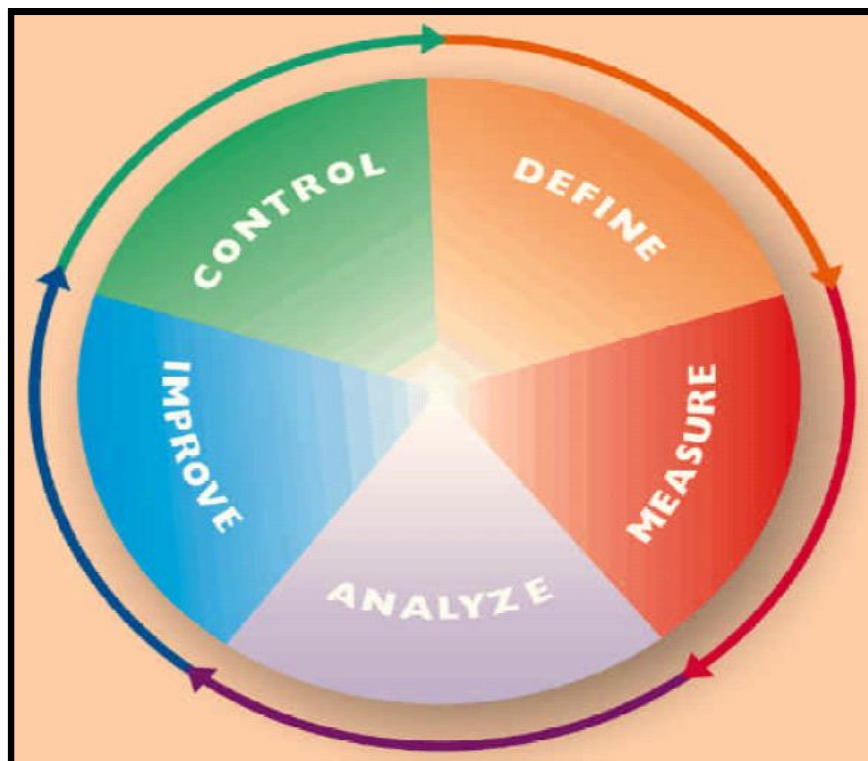


Figura 02: Ciclo DMAIC

Fonte: Werkema (2004)

2.2.3. FERRAMENTAS DA QUALIDADE

Existe uma variedade de ferramentas, técnicas e métodos utilizados na busca dos Seis Sigma. A seguir serão apresentadas algumas técnicas estatísticas que podem ser utilizadas de forma integrada em ciclos de melhoria contínua de processo e produtos.

2.2.3.1. Estratificação

Consiste na divisão de um grupo (ou problemas) em diversos subgrupos (subproblemas) com base em fatores apropriados, os quais são conhecidos como fatores de estratificação. Pode ser considerada como o agrupamento de informações (dados) sob vários pontos de vista, de modo a focalizar a melhor ação. (SILVA, 2006)

2.2.3.2. Diagrama de Causa e Efeito

Também é conhecida como o Diagrama de *Ishikawa*, ou Diagrama de Espinha de Peixe.

É utilizada para apresentar a relação existente entre determinado resultado de um processo (efeito) e os diversos fatores (causas) que podem influenciar nesse resultado (ROTONDARO, 2002). Para cada efeito existem seguramente, inúmeras categorias de causas. As causas principais podem ser agrupadas sob seis categorias conhecidas como os “6M”.

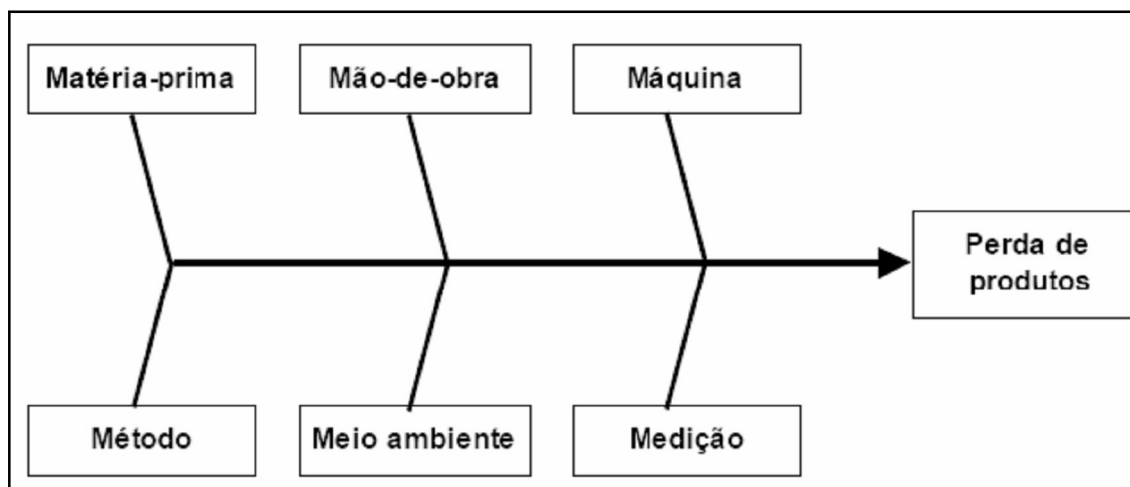


Figura 03: Diagrama de Causa e Efeito – Categorias 6M

Fonte: Baseado em Brassard (1996).

2.2.3.3. Diagrama de Pareto

É uma descrição gráfica de dados que apresenta a informação de forma que se possa concentrar os esforços de melhoria nos pontos onde os maiores ganhos podem ser obtidos – nos itens que representam as melhores oportunidades de melhoria. É elaborado com base em uma folha de verificação ou outra fonte de dados. Ele parte do princípio de Pareto que defende que os problemas são causados por muitas causas triviais, ou seja, que

contribuem pouco para a existência dos problemas, e os poucos vitais, que são os grandes responsáveis pelos problemas. Desta forma, separando-se os problemas em vitais e triviais pode-se priorizar a ação corretiva.

Trata-se de um gráfico de barras verticais que, de forma geral, apresenta:

- Na horizontal, as diversas classes de problemas ou de causas que desejamos comparar;
- Na vertical, colunas com altura definida pela frequência de ocorrência de cada classe de problema ou causa. As colunas são dispostas em ordem decrescente.
- Uma curva representativa da porcentagem acumulada das ocorrências, com seus valores indicados num eixo vertical, posicionado à direita das colunas.

A análise da curva da porcentagem acumulada pode ser útil para a definição de quantos tipos de defeitos devem ser atacados, para que seja possível atingir certo objetivo de resultado (ROTONDARO, 2002).

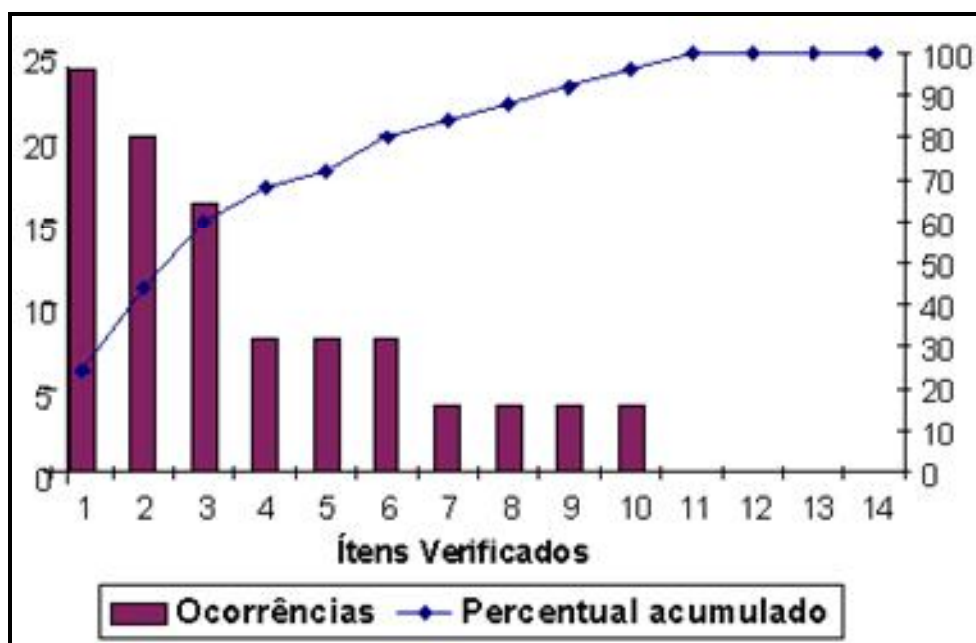


Figura 04: Diagrama de Pareto

Fonte: <http://www.eps.ufsc.br/disserta96/maues/figuras/fig47.gif>

2.2.3.4. Histograma

É uma forma de descrição gráfica de dados quantitativos, agrupados em classes de frequência. Permite verificar a forma de distribuição, o valor central e a dispersão dos dados (ROTONDARO, 2002).

A comparação de histogramas com os limites de especificação nos permite avaliar se um processo está centrado no valor nominal e se é necessário adotar alguma medida para reduzir a variabilidade do processo.

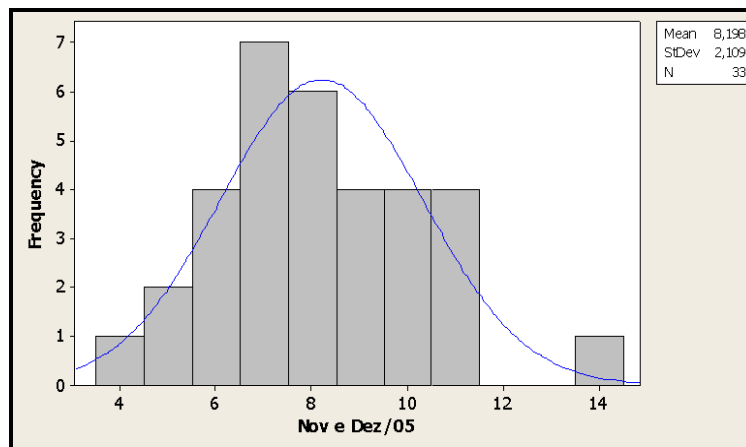


Figura 05: Exemplo de Histograma

Fonte: Mercedes-Benz do Brasil Ltda.

2.2.3.5. Gráfico Seqüencial

Gráfico que mostra, no tempo, o comportamento de um item de controle (variável). No eixo vertical são lançados os valores medidos da variável em estudo, registrando-se na horizontal o respectivo número de ordem (ordem cronológica). É útil na determinação da capacidade de um processo. É também chamado de Gráfico de Acompanhamento e de Gráfico de Tendência.

Segundo AGUIAR (2006) o objetivo da ferramenta é apresentar e organizar, de uma forma gráfica e por ordem temporal de ocorrência, características de interesse quantificadas.

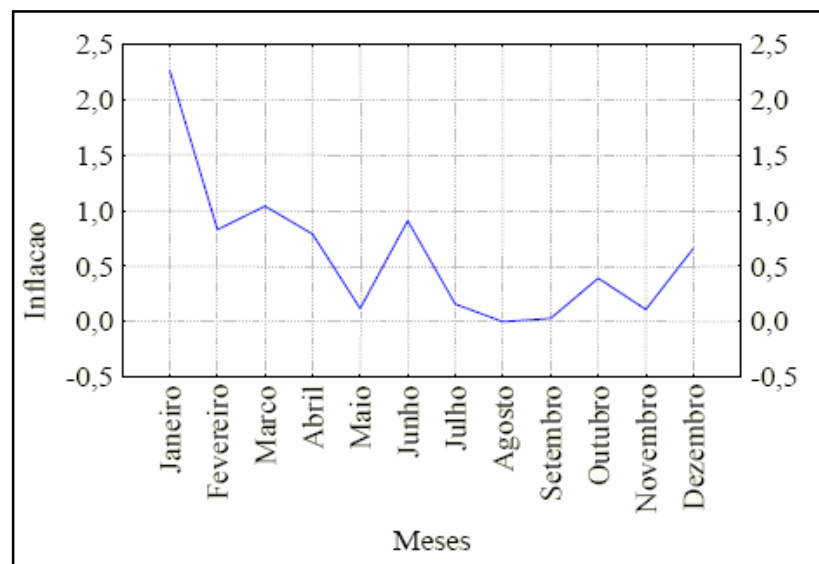


Figura 06: Gráfico Seqüencial

Fonte: CALADO (2002)

2.2.3.6. Brainstorming

É uma ferramenta para geração de novas idéias, conceitos e soluções para qualquer assunto ou tópico num ambiente livre de críticas e de restrições à imaginação.

O brainstorming (ou "tempestade de idéias"), mais que uma técnica de dinâmica de grupo é uma atividade desenvolvida para explorar a potencialidade criativa do indivíduo, colocando-a a serviço de seus objetivos.

Há três principais partes no brainstorming:

- Encontrar os fatos,
- Geração da idéia,
- Encontrar a solução.

Bons *brainstormings* incluem os seguintes conceitos:

- todas as idéias são documentadas;
- o time gera idéias e não discussões;
- nenhuma avaliação de idéias ocorre na fase inicial da atividade;
- toda a equipe participa; (ECKES, 2003).

Quando se necessita de respostas rápidas a questões relativamente simples, o brainstorming é uma das técnicas mais populares e eficazes. Muito embora, esta técnica tenha sido difundida e inserida em diversas outras áreas tais como, educação, negócios, e outras situações mais técnicas.

2.2.3.7. Diagrama de Dispersão

É utilizado para estudar a possível relação entre duas variáveis. Estas variáveis podem ser duas causas de um processo, uma causa e um efeito do processo ou dois efeitos do processo, o que não prova que uma variável afeta a outra, mas torna claro se uma relação existe e em que intensidade.

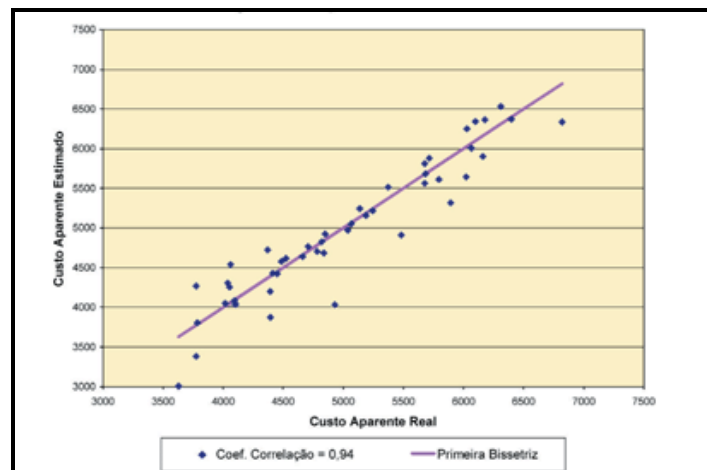


Figura 07: Diagrama de Dispersão

Fonte: <http://www.scielo.br/img/revistas/rem/v56n2/0027i06.gif>

2.2.4. EQUIPES SEIS SIGMA

A constituição da equipe Seis Sigma é um elemento fundamental no sucesso do programa, pois ele é desenvolvido essencialmente por pessoas.

Conforme Berdebes (2003), o sucesso do programa Seis Sigma depende de profissionais devidamente treinados, que tenham o domínio de várias ferramentas de qualidade e de avançadas análises estatísticas.

A estrutura Seis Sigma é apresentada na tabela 02.

Tabela 02: Patrocinadores / Especialistas do Seis Sigma

Patrocinadores e especialistas do Seis Sigma			
FIGURA 1.4			
	Patrocinador/ Especialista	Nível de atuação	Principais atribuições
Patrocinador	<i>Sponsor</i>	Principal executivo da empresa	Promover e definir as diretrizes para a implementação do Seis Sigma.
	<i>Sponsor Facilitador</i>	Diretoria	Assessorar o <i>Sponsor</i> do Seis Sigma na implementação do programa.
	<i>Champion</i>	Gerência	Apoiar os projetos e remover possíveis barreiras para o seu desenvolvimento.
Especialista	<i>Master Black Belt</i>	Staff	Assessorar os <i>Sponsors</i> e <i>Champions</i> e atuar como mentores dos <i>Black Belts</i> e <i>Green Belts</i> .
	<i>Black Belt</i>	Staff	Liderar equipes na condução de projetos multifuncionais (preferencialmente) ou funcionais.
	<i>Green Belt</i>	Staff	Liderar equipes na condução de projetos funcionais ou participar de equipes lideradas por <i>Black Belts</i> .
	<i>Yellow Belt</i>	Supervisão	Supervisionar a utilização das ferramentas Seis Sigma na rotina da empresa e executar projetos mais focados e de desenvolvimento mais rápido que os executados pelos <i>Green Belts</i> .
	<i>White Belt</i>	Operacional	Executar ações na operação de rotina da empresa que irão garantir a manutenção, a longo prazo, dos resultados obtidos por meio dos projetos.

Fonte: Werkema (2006)

2.3. SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO

O Sistema Toyota de Produção surgiu no Japão, no período pós Segunda Guerra Mundial, cuja proeminente aplicação se deu na Toyota Motor Company. Devastado pela guerra, o Japão não dispunha de recursos para realizar altos investimentos necessários para a implantação da produção em massa, que caracterizava o sistema implantado por Henry Ford e General Motors. Além disso, no país existiam outras séries de problemas e desafios a serem contornados como: mercado interno limitado e demandando vasta

variedade de produtos; mão-de-obra organizada, existência de vários fabricantes de veículos do mundo, interessados em ingressar no Japão, dentre outros.

O executivo da Toyota Taiichi Ohno iniciou, na década de 50, a criação e implantação de um sistema de produção cujo principal foco era a identificação e a posteriori eliminação de desperdícios, com o objetivo de reduzir custos e aumentar a qualidade e a velocidade de entrega do produto aos clientes. O Sistema Toyota de Produção (também conhecido como Produção Just-in-time), por representar uma forma de produzir cada vez mais com cada vez menos, foi denominado produção enxuta (Lean Production ou Lean Manufacturing) por James P. Womack e Daniel T. Jones, em seu livro “A Máquina que Mudou o Mundo” (Werkema, 2006).

Seu foco principal é a diminuição do *lead time* (tempo que leva para uma peça percorrer todo o caminho no chão de fábrica), sendo necessária a eliminação de todo o tipo de desperdício existente nos processos, através da maximização da produtividade e efetividade dos processos já existentes. Conforme Jones e Womack (1998), a manufatura enxuta tem como seu principal objetivo, alinhar a melhor seqüência possível de trabalho a fim de agregar valor de forma eficaz aos produtos solicitados pelo cliente, oferecendo exatamente o que ele deseja e transformando, na melhor maneira possível, desperdício em valor.

Segundo Toledo (2002), o pensamento enxuto pode ser entendido como a forma de produzir cada vez mais com cada vez menos recursos e, ao mesmo tempo, aproximar-se dos clientes e oferecer aquilo que eles realmente almejam, tornando o trabalho mais satisfatório e oferecendo retorno imediato sobre os esforços da transformação do desperdício em valor. Para Campos (1996), o desperdício é todo e qualquer recurso que se gasta na execução de um produto ou serviço além do estritamente necessário (matéria-prima, tempo, energia, por exemplo). É um dispêndio extra que aumenta os custos normais do produto ou serviço sem trazer qualquer tipo de melhoria para o cliente. Reduzir o desperdício – muda na língua japonesa – na manufatura significa eliminar tudo aquilo que aumenta o custo de produção, ou seja, transformar muda em valor. Esse desperdício deverá sempre ser analisado, pois a filosofia da manufatura enxuta busca a sua eliminação total. Um processo sempre poderá ser melhorado, independente do número de vezes em que for analisado.

Segundo Ohno (1997), a base do Sistema Toyota de Produção é a absoluta eliminação do desperdício. Os dois pilares necessários à sustentação do sistema são:

- Just-in-time;
- Autonomia, ou automação com um toque humano;

Esses dois pilares da Produção Enxuta têm, por sua vez, como fundamentação o Heijunka (nivelamento da produção), o trabalho padronizado, o Kaizen (melhoria contínua) e a Estabilidade.

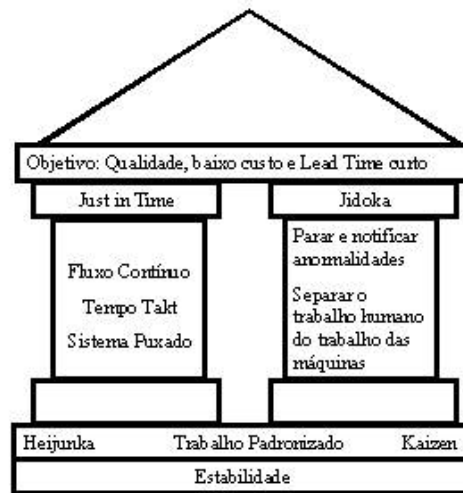


Figura 08: Pilares do Sistema Toyota de Produção

Fonte: Guinato (2000)

Just-in-time significa que, em um processo de fluxo, as partes corretas necessárias à montagem alcançam a linha de montagem no momento em que são necessários e somente na quantidade necessária. Uma empresa que estabeleça esse fluxo integralmente pode chegar ao estoque zero. Essas organizações devem procurar trabalhar em conjunto com seus fornecedores a fim de nivelar e evitar o excesso de produção. Ao abastecer um processo deve-se preocupar também com os processos seguintes, evitando a geração de desperdícios que implica diretamente na produtividade e na lucratividade. O pilar correspondente ao JIT está relacionado com a entrega exata das peças no momento em que serão utilizadas. Para isso é necessário que a produção esteja baseada em um fluxo contínuo, exista um sistema puxado de produção e a quantidade produzida esteja de acordo com o *takt time* (ritmo com que o cliente compra os produtos) da empresa.

Já a autonomia consiste em um conjunto de práticas que fornecem equipamentos e, principalmente, aos operadores da produção, a habilidade de detectar quando uma condição anormal ocorre e interrompe, dessa forma, imediatamente o trabalho. A autonomia também muda o significado da gestão. Não será necessário um operador enquanto a máquina estiver funcionando normalmente. Apenas quando a máquina pára devido a uma situação anormal é que ela recebe atenção humana. Como resultado, um trabalhador pode atender diversas máquinas, tornando possível reduzir o número de operadores e aumentar a eficiência da produção.

Segundo a TBM Consulting, Nivelamento da Produção é adaptar os índices da produção às variações da demanda em termos de volume e de produtos (TBM, 2000, p. 21).

Assim, os principais benefícios apontados para essa ação seriam:

- Manter os produtos com uma qualidade elevada e consistente;
- Reduzir as necessidades de investimento;
- Reduzir os custos com a contratação de pessoal;
- Garantir a entrega pontual.

A TBM Consulting considera que nivelar a Produção nada mais é do que fazer um mix diário do volume de demanda do cliente, mesclando produtos nos processos de manufatura, obedecendo algumas regras básicas de *setup* rápido, garantindo uma qualidade sustentável, de forma elevada e consistente.

Segundo Tubino (2000) os principais conceitos estratégicos da manufatura enxuta são:

- Satisfazer as necessidades dos clientes: significa entender e responder aos anseios dos clientes, fornecendo produtos de qualidade no momento que for solicitado. São considerados como clientes tanto os participantes da cadeia produtiva interna quanto os da cadeia externa à empresa. Para melhorar o relacionamento com os clientes deve-se reduzir os custos internos, produzir pequenos lotes com qualidade, ser flexível, projetar em conjunto com o cliente, entre outras coisas.
- Melhorar continuamente: o princípio da melhoria contínua, conhecida como *Kaizen*, significa que nenhum dia deve passar-se sem que a empresa melhore sua posição competitiva. Todos dentro da empresa são responsáveis por isso, e devem trabalhar nesse sentido. Dessa forma, um problema, ou um erro, acontecido dentro do sistema deve ser visto como uma oportunidade de melhoramento contínuo.
- Envolver totalmente as pessoas: todos os aspectos da manufatura enxuta requerem o envolvimento total das pessoas, uma vez que é necessária uma mudança de atitude em todos os níveis da empresa – estratégico, tático e operacional. A gerência deve se comprometer pela participação das pessoas e desenvolver treinamentos contínuos, com o devido aporte financeiro. Na filosofia da manufatura enxuta, é mais importante investir em pessoas do que em tecnologia.
- Organização e Visibilidade: é a base para eliminar os desperdícios e motivar as pessoas. A organização do ambiente de trabalho passa pela reformulação do layout, pela definição de locais específicos para armazenagem de materiais em processos e ferramentas e pela própria postura dos funcionários ao seguirem os padrões de higiene e segurança. A organização leva ao

benefício da visibilidade dos problemas, de forma que qualquer situação anormal seja óbvia, permitindo atuar em suas causas.

- Eliminar desperdícios: significa analisar todas as atividades realizadas no sistema de produção e eliminar aquelas que não agregam valor ao produto. Para isso é necessário, inicialmente, identificar o que acrescenta valor para o cliente e, em seguida, o que não acrescenta valor.

A essência da produção enxuta é a eliminação de toda e qualquer perda. Em muitas empresas, o lucro é obtido pelo princípio de custo (preço de venda = custo + lucro), tornando o consumidor responsável por todo o custo. Segundo Shingo (1996), a Toyota adotou o princípio do não-custo (preço de venda – custo = lucro), deixando para o consumidor decidir o preço de venda. Isso condiz muito mais com o atual ambiente de concorrência mais acirrada e consumidores mais exigentes. Analisando a fórmula do princípio do não-custo, fica claro que a atividade de redução de custo e eliminação da perda são prioridades para uma empresa enxuta manter ou aumentar o lucro (LIMA, 2007).

2.3.1. OS SETE TIPOS DE DESPERDÍCIOS

A filosofia de Produção Enxuta tem por meta eliminar os desperdícios dentro da organização. Ohno (1997) define desperdício na produção como todos os elementos da produção que só aumentam os custos sem agregar valor. Em seu estudo na Toyota identificou sete tipos de desperdícios - ou muda em japonês. A Figura 09 ilustra os sete tipos de desperdícios, relacionando-os com a mão-de-obra, qualidade e quantidade.

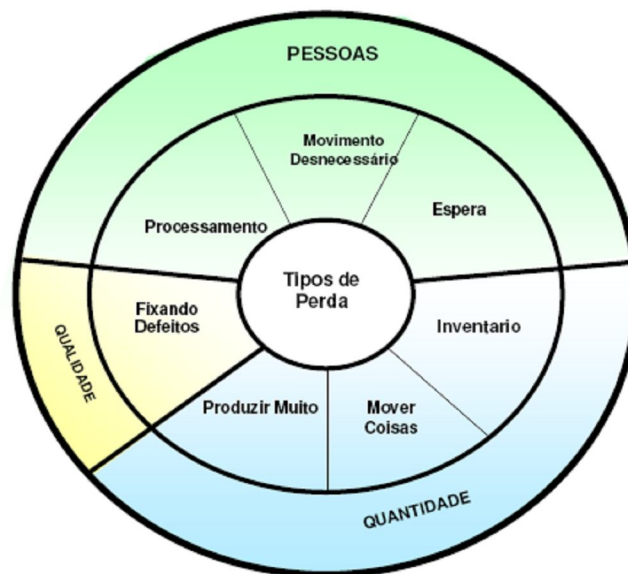


Figura 09: Sete tipos de perda ou desperdícios em uma empresa

Fonte: RIANI (2007).

2.3.1.1. Desperdício de Superprodução

Produzir excessivamente ou cedo demais, resultando em um fluxo pobre de peças e informações, ou excesso de inventário. É reconhecido como o mais sério desperdício que atrapalha a implantação de um fluxo suave de produtos e serviços e inibe também a qualidade e a produtividade. A superprodução tende a levar a um *lead time* e estoques elevados. Como resultado, os defeitos não são detectados de início e os produtos podem se deteriorar. Além disso, superprodução incorre em excessivo *wip* (*work in process*), resultando em uma pobre comunicação entre as estações de trabalho.

Desse modo, a filosofia enxuta sugere que se produza somente o que é necessário no momento através do *just in time* e, para isso, que se reduzam os tempos de *setup*, que se sincronize a produção com a demanda, que se compacte o *layout* da fábrica, e assim por diante (CORRÊA e GIANESI, 1993).

2.3.1.2. Desperdício por Espera

Esse tipo de desperdício consiste no tempo em que nenhum processo é feito. Pode ser do operador, quando fica ocioso assistindo uma operação; do processo, quando ocorre falta ou atraso da matéria-prima, atraso no processamento de lotes, atraso devido a gargalos; e, por fim, do lote, quando peças que já passaram por um determinado processo têm que esperar o restante do lote para seguir para a próxima etapa (LIKER, 2004).

O balanceamento do fluxo de produção, as operações de fluxo de peças unitárias, a troca rápida de ferramentas (TRF) reduzindo os tempos de *setups* e a melhoria do *layout* são as ferramentas usadas para eliminar a perda por espera (SHINGO, 1997).

2.3.1.3. Desperdício por Transporte

É o que ocorre quando são realizados deslocamentos desnecessários ou estoques temporários. As atividades de transporte e movimentação de materiais não agregam valor ao produto e são necessárias devido às restrições do processo e das instalações, que impõem grandes distâncias a serem percorridas pelo material ao longo do processo.

Encaradas como desperdícios de tempo e recursos, as atividades de transporte e movimentação devem ser eliminadas ou reduzidas ao máximo, através da elaboração de um arranjo físico adequado, que minimize as distâncias a serem percorridas. Além disso, custos de transporte podem ser reduzidos se o material for entregue no local de uso (CORRÊA e GIANESI, 1993).

2.3.1.4. Desperdício de Processamento

Consiste em máquinas ou equipamentos usados de modo inadequado quanto à capacidade ou capacidade de desempenhar uma operação.

No próprio processo produtivo pode estar havendo desperdícios que podem ser eliminados, isto é, processo produtivo não otimizado, ou seja, a existência de etapas ou funções do processo que não agregam valor ao produto. Nesse sentido, torna-se importante a aplicação das metodologias de engenharia e análise de valor, que consistem na simplificação e redução do número de componentes ou operações necessários para produzir determinado produto. Qualquer elemento que adicione custo e não valor ao produto é candidato a investigação e eliminação (CORRÊA e GIANESI, 1993).

2.3.1.5. Desperdício por Movimentos desnecessários

Os desperdícios de movimento estão presentes nas mais variadas operações do processo produtivo. Qualquer forma de movimento desnecessário que os trabalhadores tiverem que realizar durante o seu trabalho como procurar, esperar, empilhar, andar, entre outros são desperdícios (LIKER, 2004).

Segundo Ohno (1997), estar se movendo não significa estar trabalhando, no sentido de agregar valor. Trabalhar significa fazer o processo avançar efetivamente no sentido de completar a tarefa.

Este tipo de perda pode ser eliminado através de melhorias baseadas no estudo de tempos e movimentos. A racionalização dos movimentos nas operações é obtida também através da mecanização de operações, transferindo para a máquina atividades manuais realizadas pelo operador. Contudo, vale alertar que a introdução de melhorias nas operações via mecanização é recomendada somente após terem sido esgotadas todas as possibilidades de melhorias na movimentação do operário e eventuais mudanças na rotina das operações (GHINATO, 2000).

2.3.1.6. Desperdício por Produzir Produtos Defeituosos

Problemas de qualidade geram os maiores desperdícios do processo. Produção de itens defeituosos, reparos, retrabalhos, substituições na produção e inspeções significam desperdício de materiais, mão-de-obra, uso de equipamentos, além da movimentação e armazenagem de itens defeituosos, entre outros.

O processo produtivo deve ser desenvolvido de maneira tal que previna a ocorrência de defeitos, para que se possa eliminar as inspeções. Os defeitos não devem ser aceitos e não devem ser gerados. Deve-se procurar sempre otimizar os processos já estabilizados, reduzindo continuamente a possibilidade de defeitos através da utilização de dispositivos à prova de falhas, os quais procuram evitar os erros comuns causados pelo homem, também conhecidos por *poka-yoke*.

Técnicas para solucionar estão muito relacionadas com métodos de controle de qualidade na fonte, auto-inspeção, verificações sucessivas e dispositivos *poka-yoke* (SHINGO, 1996).

2.3.1.7. Desperdício por Estoque

Os estoques são fenômenos não lucrativos, sob a forma de estoque de matéria-prima, estoque em processo (WIP) ou bens acabados, causando longos tempos de processamento, obsolescência, mercadorias danificadas, atrasos, custos de manutenção de estoque e de transportes. Além disso, excesso de inventário esconde problemas como desbalanceamento da produção, atraso dos fornecedores, defeitos, falta de disponibilidade do equipamento e longos tempos de *setup* (LIKER, 2004).

Os estoques além de ocultarem outros tipos de desperdícios, significam desperdícios de investimentos e espaço.

A redução dos desperdícios de estoque deve ser feita através da eliminação das causas geradoras da necessidade de manter estoques. Eliminando-se todos os outros desperdícios, reduzem-se, por consequência, os desperdícios de estoque. Isto pode ser realizado reduzindo-se os tempos de preparação de máquinas e os lead times de produção, sincronizando-se os fluxos de trabalho, reduzido-se as flutuações de demanda, tornando as máquinas confiáveis e garantindo a qualidade dos processos.

2.3.2. PRINCÍPIOS DA MANUFATURA ENXUTA

Womack e Jones (1998) destacam que a produção enxuta possui cinco princípios básicos. Estes têm como meta tornar a empresa mais flexível e capacitá-la para responder de forma rápida e eficiente às necessidades dos clientes. Estes cinco princípios são apresentados a seguir:

- Especifique valor: é o ponto de partida e deve ser definido segundo a perspectiva dos clientes finais. Deve-se começar com uma tentativa consciente de definir precisamente o valor em termos de produtos e serviços específicos que atenda às necessidades do cliente a um preço específico em um momento específico.
- Identifique a cadeia de valor: é o conjunto de todas as atividades para se levar um produto específico a passar pelas tarefas de desenvolvimento (da concepção ao lançamento), de gerenciamento da informação (recebimento do pedido à entrega), e transformação física propriamente dita (da matéria-prima ao produto acabado);
- Fluxo: é necessário fazer com que as etapas que criam valor fluam. Isso exige uma mudança de mentalidade, o produto e suas necessidades devem ser o foco, e não as máquinas e equipamentos. O objetivo é reduzir as atividades que não agregam valor;
- Produção puxada: é fazer o que os clientes (internos ou externos) precisam no momento certo, permitindo que o produto seja puxado quando necessário. Isso minimiza os estoques comumente encontrados em sistemas "empurrados";

- Perfeição: fazer os quatro princípios anteriores interagirem em um círculo na eliminação dos desperdícios, especificando valor com precisão, identificando a cadeia de valor como um todo, fazendo com que os passos da cadeia de valor fluam e os clientes puxem. Isso é possível porque, ao dar condições para que o valor flua, sempre ocorrerá uma exposição dos desperdícios ocultos na cadeia de valor.

2.3.3. KAIZEN

O *Kaizen* – termo japonês que significa melhoramento contínuo – é a metodologia para o alcance de melhorias rápidas, que consiste no emprego organizado do senso comum e da criatividade para aprimorar um processo individual ou um fluxo de valor completo. É geralmente utilizada após um realizar um Mapeamento do Fluxo de Valor e é conduzido por uma equipe formada por pessoas com diferentes funções na empresa (Werkema, 2006).

A metodologia *Kaizen* foi desenvolvida e aplicada pelo engenheiro Taichi Ohno e ficou mundialmente conhecida e respeitada devido a sua intensa aplicação pelo Sistema Toyota de Produção, que baseava-se em esforços contínuos para melhoria do sistema.

A filosofia *Kaizen* está baseada na eliminação de desperdícios com base no bom senso, no uso de soluções baratas que se apoiem na motivação e criatividade dos colaboradores para melhorar a prática de seus processos de trabalho, com foco na busca pela melhoria contínua (Werkema, 2006).

De acordo com SHARMA e MOODY (2003), o *Kaizen* coloca a inteligência pelo processo e a responsabilidade pela tomada de decisões diretamente nas mãos dos especialistas do chão de fábrica. Essa passagem traduz claramente a força que a equipe *Kaizen* possui dentro da organização. O time tem autonomia para promover melhorias e implantá-las para alcançar ou até mesmo superar as metas inicialmente estabelecidas.

A figura 10 apresenta os pontos fortes e os riscos do *Kaizen* segundo Jefferey Liker e David Méier.

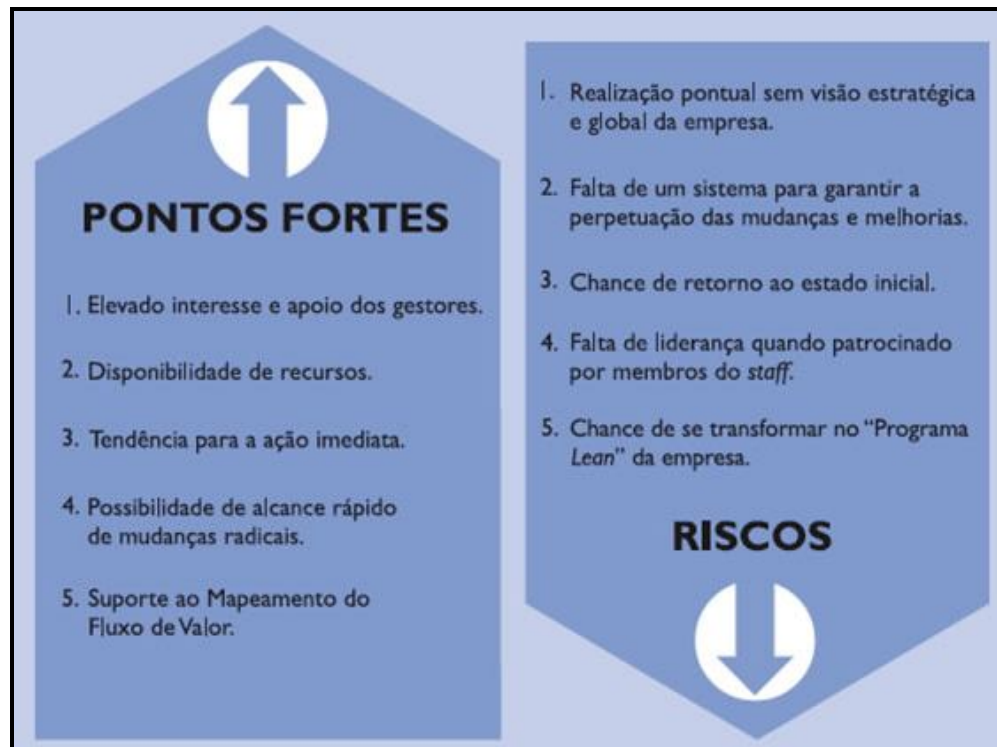


Figura 10: Pontos fortes e Riscos do Kaizen

Fonte: Werkema (2006).

2.4. LEAN SIGMA

A expressão "*Lean Sigma*" surgiu a partir da segunda metade dos anos 90, quando as empresas da cadeia automotiva (montadoras e seus fornecedores), que foram as primeiras a adotar programas *Lean Production* na década de 80, passaram também a utilizar os princípios do Seis Sigma.

O *Lean Sigma* é um programa resultante da integração entre o Seis Sigma e o *Lean Manufacturing*, por meio da incorporação dos pontos fortes de cada um deles. É uma estratégia mais abrangente, poderosa e eficaz que cada uma das partes individualmente e adequada para a solução de todos os tipos de problemas relacionados à melhoria de processos e produtos. Conforme a TBM o *LeanSigma* é a primeira integração uniforme do *Lean* e do *Six Sigma* e é hoje em dia o mais poderoso método de redução rápida do prazo de entrega e da variação numa iniciativa única e coordenada.

A integração entre o *Lean Manufacturing* e o *Seis Sigma* é natural: a empresa pode – e deve – usufruir os pontos fortes de ambas as estratégias. Por exemplo, o *Lean Manufacturing* não conta com um método estruturado e profundo de soluções de problemas e com ferramentas estatísticas para lidar com a variabilidade, aspecto que pode ser complementado pelo *Seis Sigma*. Já o *Seis Sigma* não enfatiza a melhoria da velocidade

nos processos e a redução do *lead time*, aspectos que constituem o núcleo do *Lean Manufacturing*.

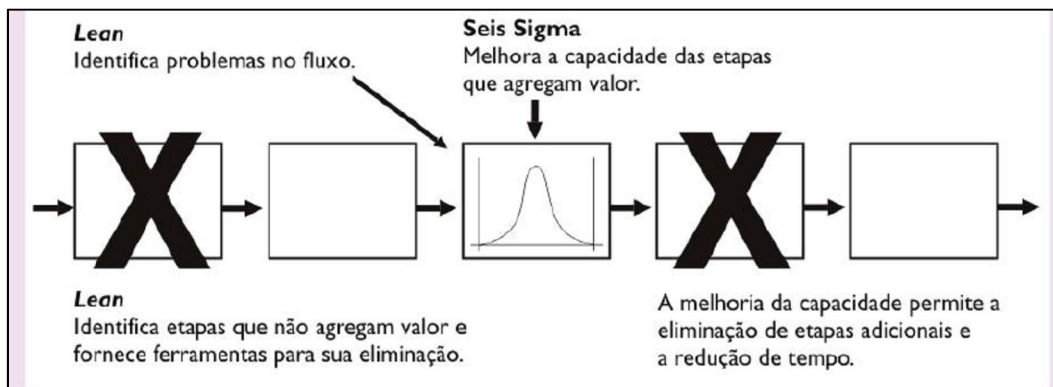


Figura 11: Como o Seis Sigma e o Lean Manufacturing contribuem para a melhoria dos processos

Fonte: Werkema (2006)

Os pontos fortes do Seis Sigma e do Lean Manufacturing, que mostram as oportunidades de complementaridade dos programas, são apresentados na tabela 03.

Tabela 03: Pontos Fortes do Seis Sigma e do Lean Manufacturing

Seis Sigma	Lean Manufacturing
<ol style="list-style-type: none"> 1. Emprego de métodos estruturados para o alcance de metas: <i>DMAIC</i> e <i>DMADV</i> 2. Utilização, para a análise de dados, de ferramentas estatísticas poderosas, que auxiliem a solução de problemas complexos 3. Busca da redução da variabilidade 4. Ênfase na redução de custos e de defeitos definidos pelos clientes 5. Seleção de projetos associados às metas estratégicas da empresa 6. Foco na melhoria de produtos (<i>Design for Six Sigma – DFSS</i>) e não apenas na melhoria de processos 7. Infra-estrutura de patrocinadores e especialistas (<i>Sponsors, Champions</i> e “<i>Belts</i>”) 8. Elevada dedicação dos especialistas 9. Envolvimento de todas as pessoas da empresa, nos diferentes níveis de aprofundamento do programa, como responsáveis por conhecer e implementar seus conceitos e sua metodologia. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tendência para a ação imediata no caso da solução de problemas de escopo restrito e de baixa complexidade, por meio dos eventos <i>Kaizen</i> 2. Utilização de técnicas simples para a análise de dados durante os eventos <i>Kaizen</i> 3. Busca da redução do <i>lead time</i> e do trabalho em processo 4. Ênfase na maximização da velocidade dos processos 5. Seleção de projetos estratégicos identificados pelo Mapeamento do Fluxo de Valor e também de projetos de interesse exclusivo para alguma área da empresa.

Fonte: Adaptado de Werkema (2006)

Embora tanto a técnica Seis Sigma quanto o Lean Sigma focalizem o mesmo resultado final, há uma diferença significativa entre os métodos de implementação. A metodologia *Kaizen* produz resultados muito mais rápidos e, de acordo com Bonnie Smith (Master Black Belt, ex diretora de Qualidade Total na York Internacional e diretora da Divisão LeanSigma da TBM), “promove de maneira muito mais efetiva a mudança cultural. O Lean Sigma é uma ferramenta muito mais poderosa de transformação porque, depois que o *Kaizen* promove a mudança intensa e rápida, ele mantém os ganhos e reduz a variação no processo”(SHARMA E MOODY).

Além disso, o Lean Sigma, sendo uma força estabilizadora, permite que uma organização em transformação focalize desafios de processos realmente muito mais difíceis, com problemas mais profundamente enraizados e confusos, que não podem ser resolvidos simplesmente com iniciativas *Kaizen*. O processo de análise da causa-raiz do Lean Sigma e sua otimização revelam, em uma semana, questões técnicas que exigiriam soluções no longo prazo, para eliminar a causa-raiz do problema (SHARMA e MOODY).

Capítulo III – O LEAN SIGMA APLICADO À MERCEDES-BENZ DO BRASIL

3.1. A INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA NO BRASIL

A história da indústria automobilística no Brasil iniciou-se em 1956, no estado de São Paulo, quando o então presidente Juscelino Kubitschek de Oliveira formalizou a criação do Geia, Grupo Executivo da Indústria Automobilística, com o objetivo de estimular a fabricação local e não somente a montagem de veículos no Brasil.

A implantação e desenvolvimento do setor automotivo impulsionaram o Brasil a mudar de patamar econômico. O País deixou de ter sua economia exclusivamente apoiada na agricultura e na produção de *commodities* primárias. Passou, de fato, a ocupar lugar no chamado mundo industrializado.

O desenvolvimento do setor automotivo impulsionou a industrialização no país. Conforme dados da ANFAVEA, existem hoje, no Brasil, 24 montadoras em 45 plantas industriais com capacidade de produção de 3,5 milhões de veículos anuais, empregando direta ou indiretamente 1,3 milhão de pessoas. No ano de 2005, o setor automotivo, incluindo as autopeças, faturou cerca de US\$ 42,3 bilhões; dos quais 18,1 bilhões vieram de exportação. O país já é o 9º maior produtor mundial de veículos e a atividade é responsável por 15% do PIB industrial, gerando uma arrecadação em impostos de 21 bilhões de reais; o que a coloca em 9º lugar no ranking mundial.

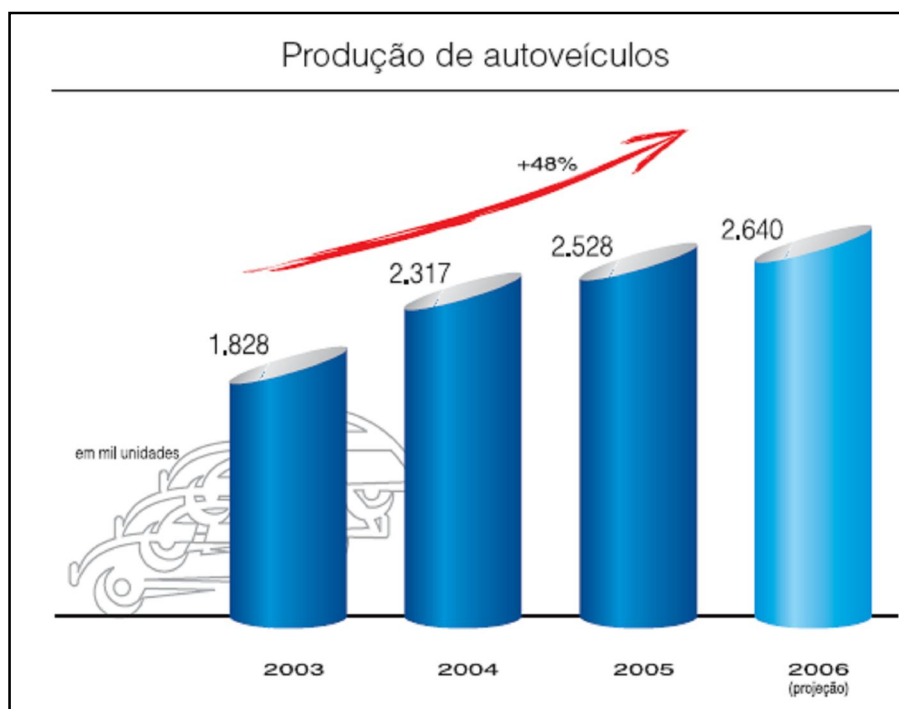


Figura 12: Produção anual de automóveis no Brasil em milhares de unidades

Fonte: Indústria Automobilística Brasileira: 50 anos (2006).

Atualmente, a indústria automotiva passa por uma nova fase ainda mais ambiciosa. Além de exportar veículos e componentes para todos os continentes, passa a incluir também serviços de engenharia em sua pauta de exportações.

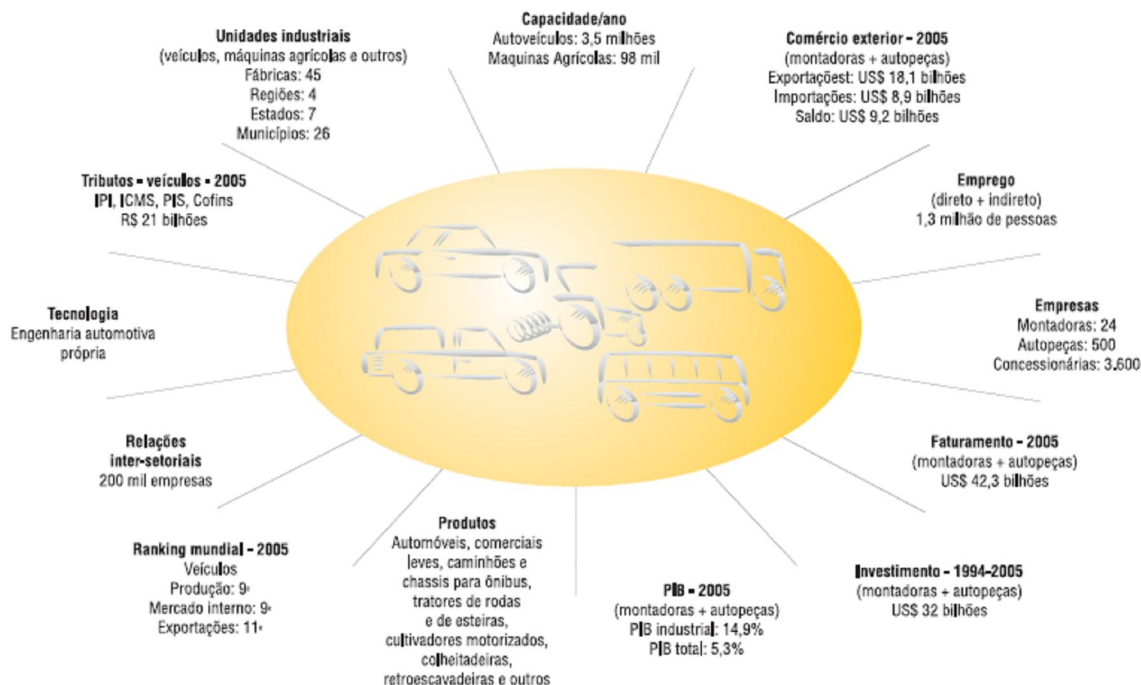


Figura 13: Indústria automobilística brasileira em grandes números

Fonte: Indústria Automobilística Brasileira: 50 anos (2006).

Invariavelmente, uma indústria automobilística tem três processos principais: Montagem Bruta, Pintura e Montagem Final. Na Montagem Bruta é realizada a junção das chapas metálicas através de processos de soldagem e colagem. É realizado também um ajuste inicial das partes móveis metálicas como portas, capô e pára-lamas. Da Montagem Bruta, segue para a Pintura, onde as chapas recebem tratamentos anti-corrosivos, esmalte (que é a tinta, propriamente dita) e verniz. O último passo é a Montagem Final onde a carroçaria, já com sua estrutura montada e já pintada, recebe todo o acabamento, ou seja, são encaixadas todas as partes restantes do carro, por exemplo: motor, rodas e pneus, partes plásticas, bancos, painel, etc. Também há o ajuste fino das partes móveis, alinhando-as com as demais.

3.2. HISTORICO DA DAIMLER

A história da Empresa teve início há mais de um século, na Alemanha, e traduz o primeiro capítulo da motorização veicular no mundo. Os protagonistas, Gottlieb Daimler e Karl Benz construíram paralelamente os primeiros automóveis motorizados do mundo. O pioneirismo desses homens fez com que colecionassem outras conquistas como a

construção do primeiro ônibus, do primeiro caminhão com motor a gasolina e do primeiro caminhão a diesel do mundo. Do trabalho iniciado por Daimler e Benz resultou a formação, em 1926, da Daimler-Benz AG.

A marca Mercedes foi registrada em 1902. Surgiu de uma referência à Mercedes Jellinek, filha de Emil Jellinek, cliente fiel de Gottlieb Daimler. O nome Mercedes identificava os carros encomendados por Jellinek, um entusiasta do automobilismo e consagrou-se a partir das vitórias obtidas nas pistas. Com a criação da Daimler-Benz AG, os carros Mercedes passaram a se chamar Mercedes-Benz.

Em 1925, graças a Walter P. Chrysler, nasceu a Chrysler Corporation, com a matriz nos Estados Unidos e uma filial no Canadá. Em novembro de 1998, Daimler-Benz e Chrysler fundiram suas operações e, dessa transformação nasceu a DaimlerChrysler AG, detentora de marcas como Mercedes-Benz, Chrysler, Dodge e Jeep. No início de 2007 a marca Chrysler foi vendida pelo grupo, e a empresa passou a se chamar Daimler AG.

Atua nos setores automotivo, de transportes e serviços. Com mais de 416.000 funcionários a empresa produz em torno de 4 milhões de veículos por ano que são comercializados em mais de 200 países.

3.3. DAIMLER NO BRASIL

A Empresa está presente no Brasil desde 1956, com sua unidade em São Bernardo do Campo, produtora de caminhões e chassis para ônibus. Mais tarde, em 1978, foi inaugurado o complexo industrial de Campinas, onde atualmente é o centro de distribuição de peças e serviços de pós-venda.

Em 1996, começaram as obras de instalação da nova fábrica do grupo DaimlerChrysler situada em Juiz de Fora – MG, onde foi realizado o estudo do presente trabalho. Dentro da estratégia de integração da empresa no grupo DaimlerChrysler mundial, a Mercedes-Benz do Brasil S.A. se transformou em DaimlerChrysler do Brasil Ltda. em dezembro de 2000.

Inaugurada em abril de 1999 para a produção de veículos Mercedes-Benz, marca integrante do grupo DaimlerChrysler, é considerada uma das fábricas mais modernas da indústria automobilística da América do Sul e trouxe novos conceitos de qualidade construtiva, atingindo um dos mais altos padrões de qualidade dentre todas as outras unidades de automóveis da marca no mundo.

De 1999 a 2005, a planta mineira fabricou o modelo Classe A, primeiro veículo compacto da marca Mercedes-Benz e destinado para o mercado nacional. De 2001 a fevereiro de 2007, passou a montar o modelo sedã Classe C para o mercado norte-americano em regime de produção CKD (*completely knocked down*), isto é, todas as peças vêm embaladas em lotes da Alemanha e são apenas montadas no Brasil.

De abril de 2007 a dezembro de 2007 a fábrica produziu o modelo esportivo Classe C Sports Coupé em regime de produção CBU (*completely built unit*), isto é, o carro é totalmente montado na planta. O carro, líder no seu segmento de venda, era produzido unicamente na unidade Juiz de Fora e destinado para a exportação visando atender à demanda mundial.

Atualmente o modelo em produção é o CLC lançado mundialmente em março de 2008.



Foto 01: CLC Coupé

Fonte: Arquivo de fotos Daimler (2008).

A fábrica está localizada em uma área de 2,8 milhões de metros quadrados, com 160 mil metros quadrados de área construída e comporta três prédios industriais: Montagem Bruta, Pintura e Montagem Final. Emprega atualmente cerca de 1.050 funcionários diretos e possui uma capacidade de produção de aproximadamente 70.000 veículos por ano, trabalhando em dois turnos.

A divisão interna da Mercedes-Benz do Brasil Ltda. se dá da seguinte maneira:

- A/MC – Montagem de Carroçaria Bruta e Pintura: Montagem de Carroçaria; Planejamento da Produção e Manutenção da Montagem de Carroçaria; Pintura de Carroçaria; Planejamento da Produção e Manutenção da Pintura.
- A/MF – Montagem final: Acabamento Interno; Montagem Mecânica; Planejamento da Produção e Manutenção da Montagem Final; Planejamento Estratégico.
- A/EQ – Gestão de Qualidade e Engenharia do Produto: Planejamento de Engenharia e Qualidade; Engenharia de Produto e Qualidade; Engenharia Experimental e Análises; Gestão da Qualidade na Produção.
- A/LC – Logística e Compras: Programação e Abastecimento de Materiais; Documentação Técnica e Exportação; Compras de Materiais e Serviços.

- H/JP – Recursos Humanos JdF: Administração e remuneração de pessoal; Desenvolvimento de competências.
- A/FC – Contabilidade Financeira: Contabilidade Financeira; Controlling de despesas; Pré e pós-Cálculos.
- A/PF – Planejamento de Fábrica: Planejamento de Fábrica e Infra-estrutura; Administração, Frota e Meio Ambiente; Segurança do Trabalho e Riscos Industriais.

Não diferente das demais montadoras, a empresa conta com três áreas produtivas: Montagem Bruta (1), Pintura (2) e Montagem Final (3). O setor de logística fornece as peças para a Montagem Bruta, onde são montadas inicialmente, dando origem à carroçaria bruta. Com a carroçaria bruta já montada, segue para o processo de pintura à base d'água que é favorável ao meio ambiente. Por fim, segue para a Montagem Final, onde à carroçaria bruta, já pintada, são agregados o trem de força e os acabamentos, e se tem o carro propriamente dito de acordo com o pedido do cliente. Durante todo o processo de montagem do carro são feitas várias inspeções e medições para assegurar o padrão de qualidade Mercedes-Benz. Suas áreas produtivas são mostradas na foto 03:

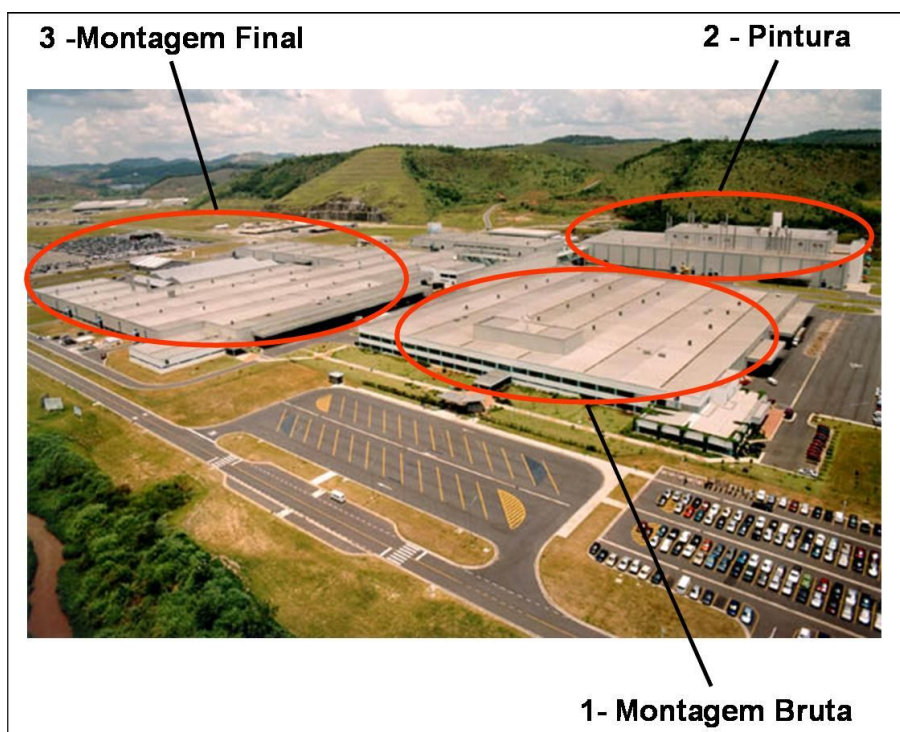


Foto 02: Vista aérea da fábrica da Mercedes-Benz em Juiz de Fora

Fonte: Arquivo de fotos Daimler (2006).

Para se obter uma descrição simples e facilmente compreensível dos processos e, como são formados, implementados e mantidos na empresa; todas as unidades da marca

Mercedes-Benz utilizam um sistema de produção, sendo denominado na unidade de Juiz de Fora de SPJ – Sistema de Produção de Juiz de Fora. Para que haja a padronização do funcionamento da fábrica, este sistema tem que contar com o envolvimento de todos os colaboradores e executivos da empresa.

A empresa conta com um sistema de gestão integrado (IMS) para melhoria contínua, que envolve as normas: ISO/TS 16949:2002 sobre qualidade, ISO 14001:2004 sobre meio ambiente, OHSAS 18001:1999 sobre segurança do trabalho e os princípios e métodos do SPJ. A Figura 14 mostra os principais processos do IMS:

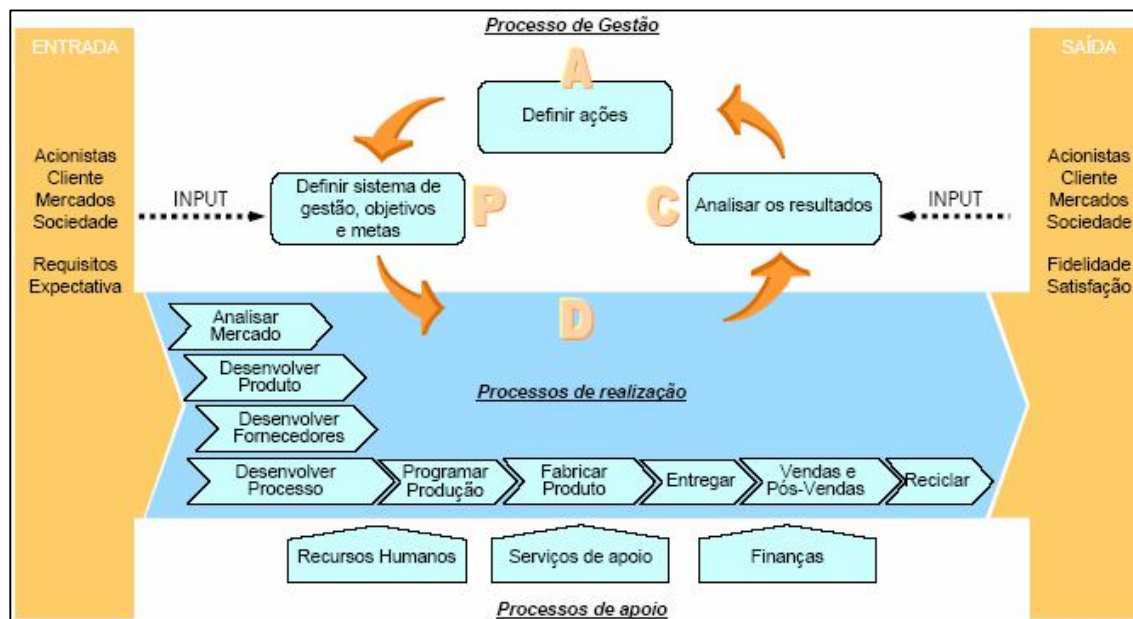


Figura 14: Sistema de Gestão Daimler

Fonte: Intranet Daimler do Brasil Ltda (2007)

3.4. O SETOR DE PINTURA

O setor de pintura é composto por duas grandes áreas: Tratamento de superfícies (também chamada de Corrosão) e *Decklack*.

Na área de Tratamento de Superfície a carroceria passa por um processo de limpeza, quando é recebida da Montagem Bruta, para entrar no processo de pintura.

Inicialmente a carroceria passa por um processo de desengraxa, onde se retira o óleo que a cobre e que é usado para protegê-la durante o transporte das peças constituintes. Após essa etapa a carroceria recebe uma camada de fosfato iniciando o tratamento contra corrosão e melhorando a aderência. Em seguida a carroceria é imersa em um tanque de KTL (pintura catódica por eletrodeposição), que lhe dá uma coloração cinza. Esta tinta protege o metal contra a corrosão. Há também uma etapa de lavagem do KTL. Já coberta por KTL, a carroceria passa por um secador e é lixada conforme

necessidade. Segue então para o processo de calafetação, onde recebe vedação (massa de PVC) em todas as junções de chapas para que não haja infiltração, evitando também a corrosão.

Após o Tratamento de Superfície está o setor de *Decklack* que é a pintura propriamente dita, onde a carroceria recebe três camadas de tinta: primer (um tipo de base), esmalte e verniz. A aplicação destas três camadas é feita em cabines especiais, manualmente, pelo próprio colaborador e posteriormente por máquinas de aplicação que são chamadas de máquinas “ESTA”: “ESTA primer”, “ESTA esmalte” e “ESTA verniz”.

A aplicação de Primer garante a aderência entre o KTL e o esmalte. Após essa aplicação a carroceria passa por um secador e por cabines de limpeza. Essa limpeza da superfície é realizada manualmente e também pela máquina EMU (rolos de pena de avestruz que retiram as cargas elétricas e a sujeira da carroceria).

A aplicação de esmalte confere cor à carroceria. A tinta utilizada nessa etapa é à base d'água. Após a aplicação a carroceria segue por um secador intermediário que seca parcialmente o esmalte, pois é necessária a remoção do excesso de água para possibilitar a aplicação de verniz, que é a próxima etapa do processo. A aplicação de verniz garante brilho à cor.



Foto 03: Processo de Aplicação de Verniz

Fonte: Arquivo de Fotos Mercedes-Benz do Brasil (2007)

Em seguida a carroceria segue para as áreas de controle onde são avaliadas e enviadas, conforme necessidade, para retrabalho (correção de defeitos de pintura).

O processo termina com a aplicação de cera que é realizada para garantir a proteção anticorrosão nas partes oca da carroceria. Após a aplicação da cera as carrocerias seguem para a Montagem Final.

3.5. ESTUDO DE CASO: LEAN SIGMA - DMAIC

Durante o processo de pintura das carrocerias podem ocorrer algumas falhas de pintura tornando-se necessário a realização de retrabalhos (lixamentos e polimentos) para a correção destes defeitos visando a liberação da carroceria para continuar o processo de fabricação e chegar até o cliente final.

Na Mercedes-Benz, a área responsável pela identificação de falhas é chamada de 'Área Branca'. Os colaboradores dessa área marcam as falhas e analisam quais poderão ser retrabalhadas por eles e quais necessitarão ser realizados fora da linha de produção - nas áreas de FST (Pequenos reparos), SPOT (Médios reparos) e GR (Grandes reparos, repintura).

Durante a fabricação do modelo CL Sport Coupé os índices de falhas por carroceria estavam altos (média de 27,9 defeitos/carroceria) conforme pode ser observado na figura 15. Paralelamente às falhas típicas do processo, uma outra falha estava ocorrendo em grande escala: as manchas de polimento.

Devido à grande incidência dessas manchas foi realizado um projeto Lean Sigma com o objetivo de analisar as causas reais desse problema e melhorar os índices de qualidade (medidos através de auditorias do produto em processos específicos e pré-determinados). O projeto iniciou-se em 04 de junho de 2007 e teve como meta estabelecida uma redução de 70% na ocorrência das manchas de polimento.

No presente trabalho são descritos as etapas, os testes mais relevantes e as conclusões deste projeto visando consolidar a metodologia Lean Sigma.

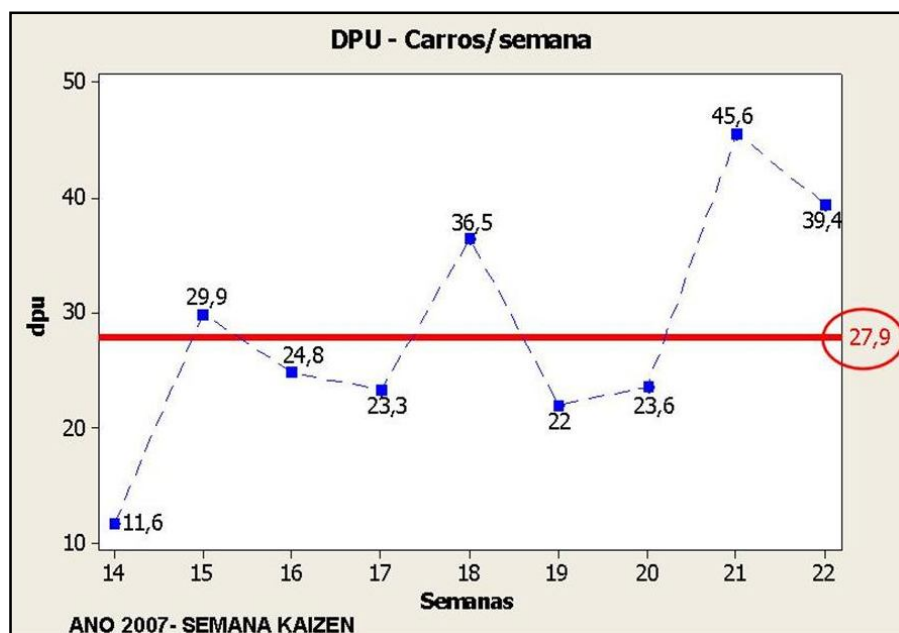


Figura 15: Gráfico Defeitos/unidade - Área Branca

Fonte: Mercedes-Benz do Brasil (2007)

3.5.1. Definição

As manchas de polimento são marcas que surgem na superfície da carroceria nas áreas lixadas, com o objetivo de corrigir falhas de Pintura, onde mesmo após um processo de acabamento (polimento) não se consegue restabelecer o brilho original do verniz. Essas manchas podem aparecer logo após a realização do retrabalho ou após um intervalo de tempo variável podendo ser identificadas no fim do processo de Montagem Final (numa área denominada 'Finish') ou após o envio dos carros para o cliente.

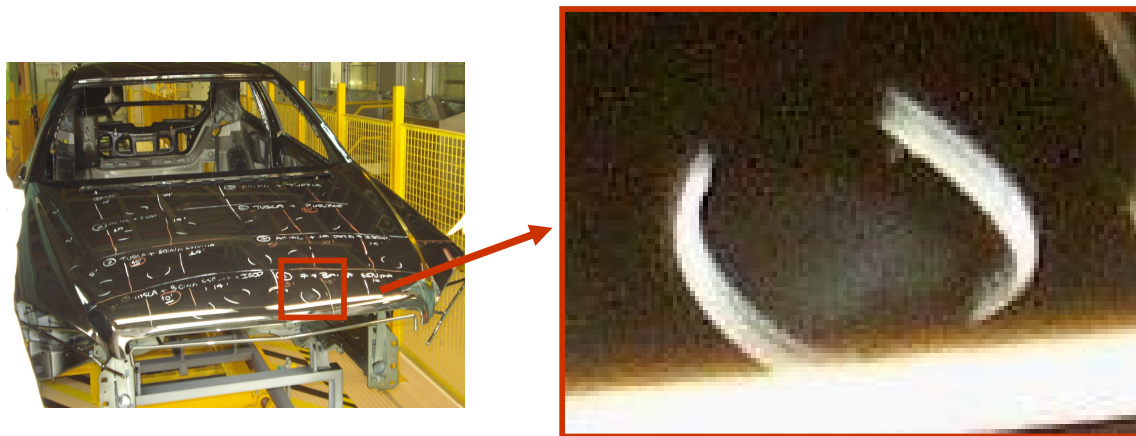


Figura 16: Mancha de Polimento em um capô de uma carroceria

Fonte: Mercedes-Benz do Brasil (2008)

3.5.2. Medição e Análise

A primeira etapa do projeto consistiu na realização de um Kaizen com duração de seis dias (04/06/07 à 09/06/07). Nessa fase foi realizado um levantamento e uma análise dos dados, com o objetivo de identificar as possíveis causas do surgimento das manchas de polimento e medidas para conter e/ou solucionar o problema.

Os objetivos do Kaizen foram:

- Determinar as principais variáveis do processo
- Avaliar os sistemas de medição existentes (critérios de qualidade estabelecidos)
- Verificar as operações padrão

A equipe Kaizen contava com colaboradores do setor de Pintura, da área de Qualidade e com um representante do fornecedor de tintas Basf.

A figura 17 apresenta as estatísticas das manchas de polimento no início do projeto. Os dados foram obtidos a partir de uma auditoria BPA Pintura antes da liberação da carroceria para a Montagem Final. O BPA é uma auditoria setorial do produto realizada diariamente por colaboradores do setor de Qualidade da Mercedes-Benz em pelo menos uma carroceria. Essa auditoria avalia a carroceria em todos os aspectos de acordo com

padrões de qualidade pré-estabelecidos, tendo como objetivo identificar falhas e garantir a qualidade do produto.

Pode-se comprovar através da figura 17 que os índices de ocorrência das manchas estavam muito acima das metas de qualidade estabelecidas.

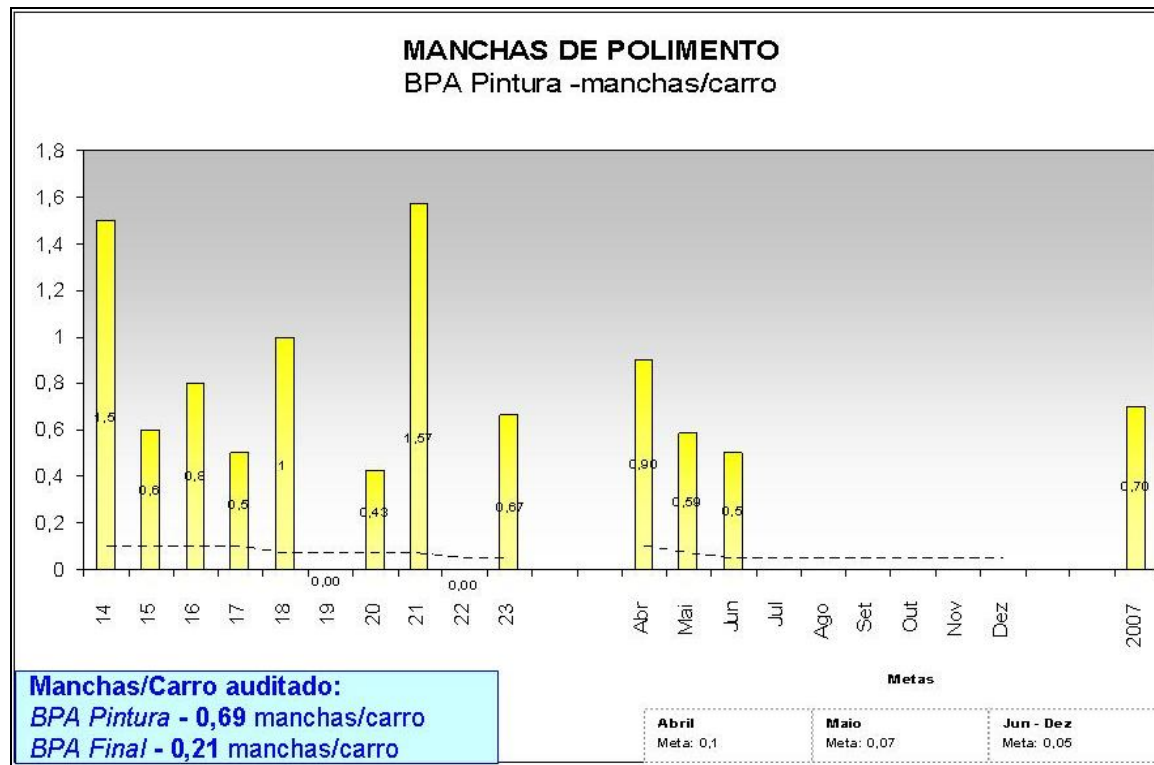


Figura 17: Estatísticas de manchas de polimento no BPA Pintura

Fonte: Mercedes-Benz do Brasil (2007)

Pelo fato da auditoria BPA não ser realizada em todas as carrocerias surgiu a necessidade de implantar um controle em todos os carros produzidos para garantir a confiabilidade dos dados. Por isso, a partir da realização do Kaizen, um colaborador da Pintura alocado no Finish da Montagem Final recebeu a incumbência de controlar todas as carrocerias e registrar os dados de aparecimento das manchas.

A partir dos dados coletados no Finish da Montagem Final foi realizada uma estratificação do aparecimento de manchas por local da carroceria. O gráfico de Pareto da figura 18 nos mostra que a maior incidência das manchas era no capô, representando 79,6% dos dados levantados. Baseado nessa estatística foi definido que os testes e avaliações seriam realizados utilizando o capô, uma vez que se reduzíssemos as manchas nessa área estaríamos atingindo o objetivo do projeto de redução das mesmas.

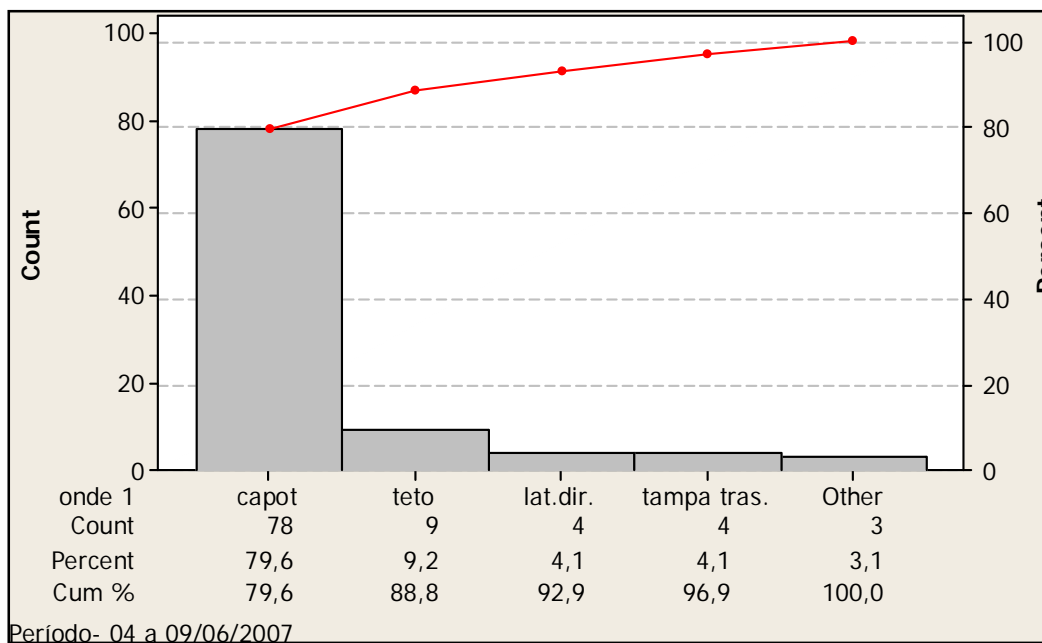


Figura 18: Distribuição das manchas de polimento por área da carroceria

Fonte: Mercedes-Benz do Brasil (2007)

A figura 19 apresenta a média de manchas antes do Lean Sigma. A média de manchas por carroceria era de 5,27 manchas. Conforme já mencionado as manchas no capô representavam aproximadamente 80% do total apresentando uma média de 4,22 manchas/capô.

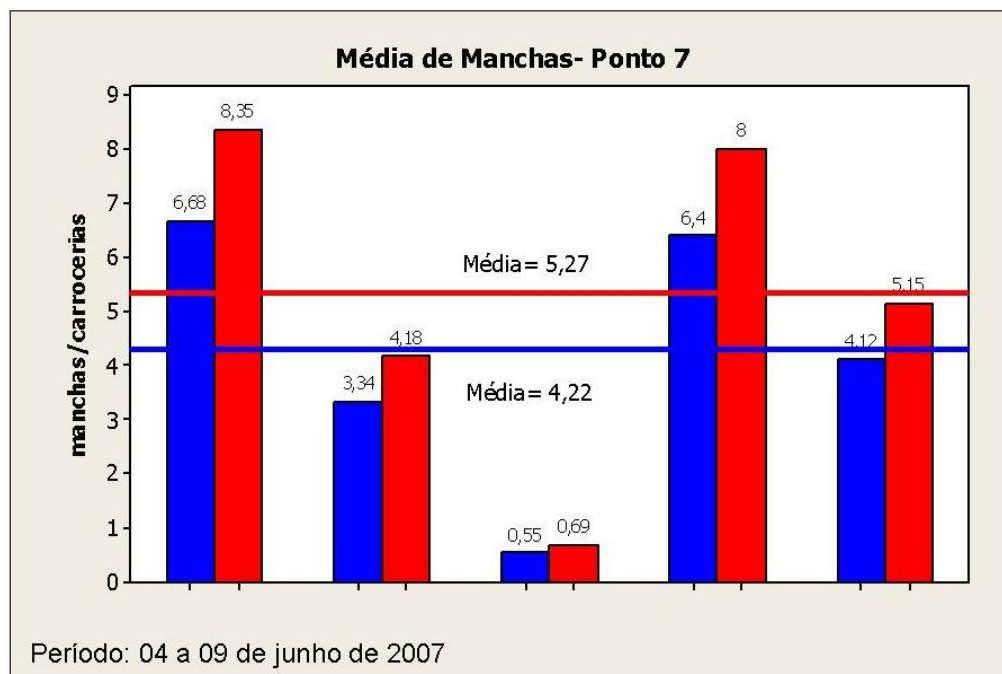


Figura 19: Média de manchas no Finish Montagem Final – Antes Lean Sigma

Fonte: Mercedes-Benz do Brasil (2007)

As primeiras atividades da equipe Kaizen consistiram em identificar em quais circunstâncias as manchas ocorriam e obter dados estatísticos do aparecimento de falhas de pintura. Foi constatado que as manchas só apareciam quando era feito um retrabalho devido à ocorrência de defeitos, porém a mesma não aparecia em todos os retrabalhos que eram realizados. Portanto, se fosse reduzida a ocorrência de falhas reduziria também a probabilidade de aparecimento de manchas.

A figura 20 representa o gráfico de Pareto dos principais defeitos de pintura. Ela nos mostra que existiam duas causas principais que representavam 76,2% dos problemas que propiciavam o aparecimento das manchas de polimento (falhas de sujeira e de cristal de verniz). Como o aparecimento das manchas está vinculado aos lixamentos efetuados para retirada de defeitos, o trabalho do Lean Sigma foi dividido em duas vertentes principais:

- evitar o aparecimento de defeitos através de medidas de prevenção;
- adequar os métodos de lixamento/polimento (novos materiais e ferramentas) como medida de contenção das manchas.

É importante salientar, que o material (verniz Progloss 1) fornecido pela empresa BASF é um material novo que envolve nanotecnologia em sua composição química. É um material de alta resistência mecânica com o objetivo de se evitar riscos em sua superfície.

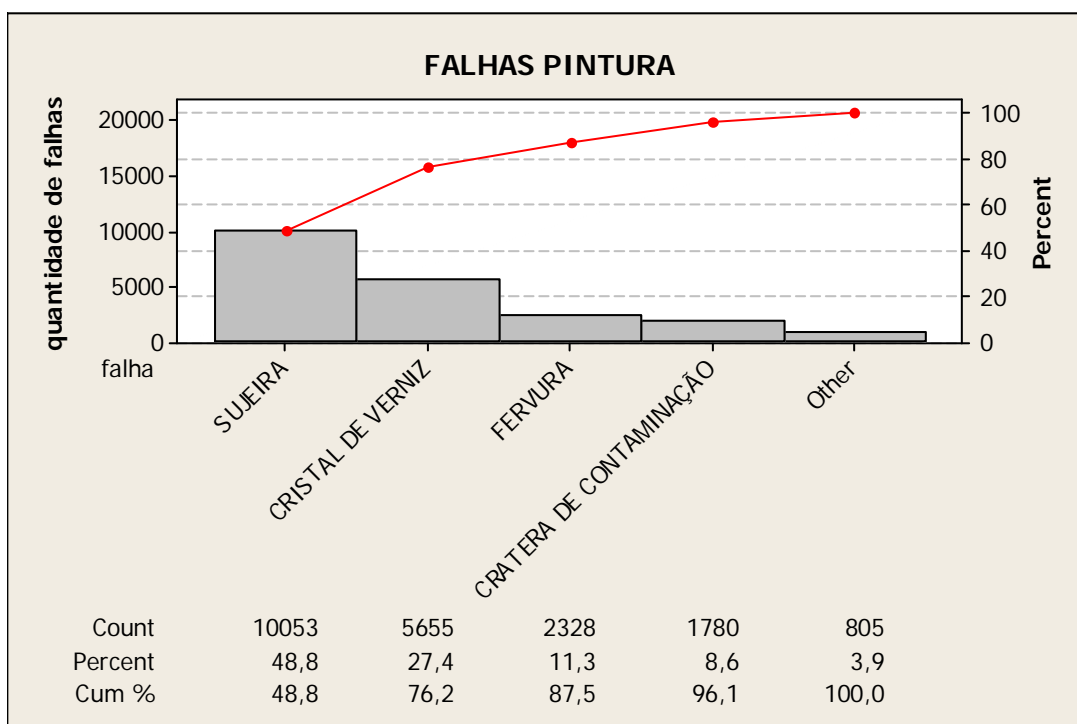


Figura 20: Gráfico de Pareto: Falhas de Pintura - Área Branca

Fonte: Mercedes-Benz do Brasil (2007)

Após a coleta estatística, a equipe Kaizen reuniu-se para analisar as possíveis variáveis que poderiam influenciar o aparecimento das marcas de polimento. A figura 21 representa o diagrama de causa e efeito montado a partir das informações levantadas pela equipe.

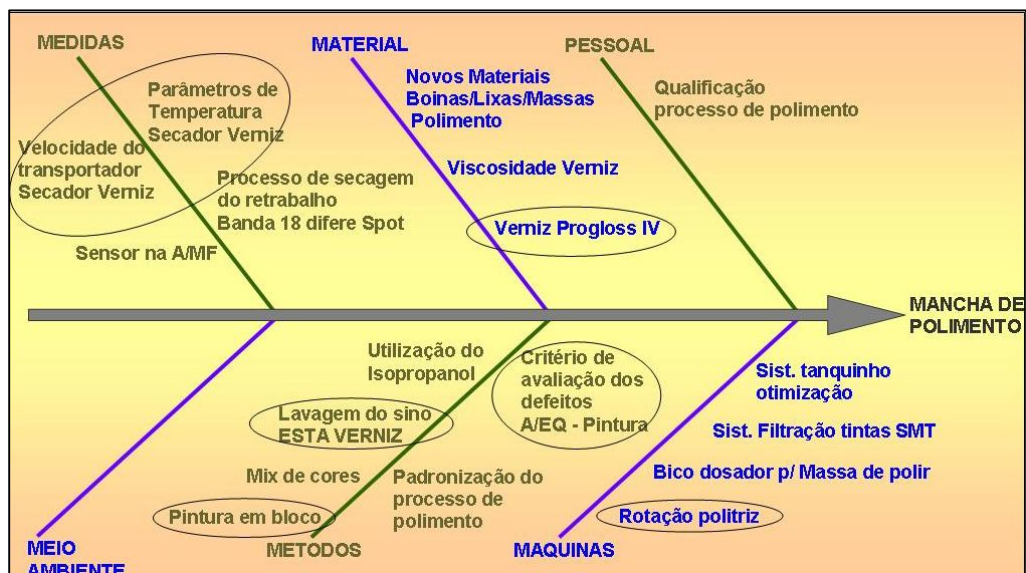


Figura 21: Diagrama de Causa e Efeito

Fonte: Mercedes-Benz do Brasil (2007)

Após o levantamento das possíveis causas, foi realizado um *brainstorming* buscando gerar ações que pudessem atacar as causas levantadas e conseqüentemente solucionar o problema das marcas de polimento. A figura 22 representa as idéias mais citadas agrupadas segundo o grau de dificuldade de implantação e o impacto da mesma para o processo.

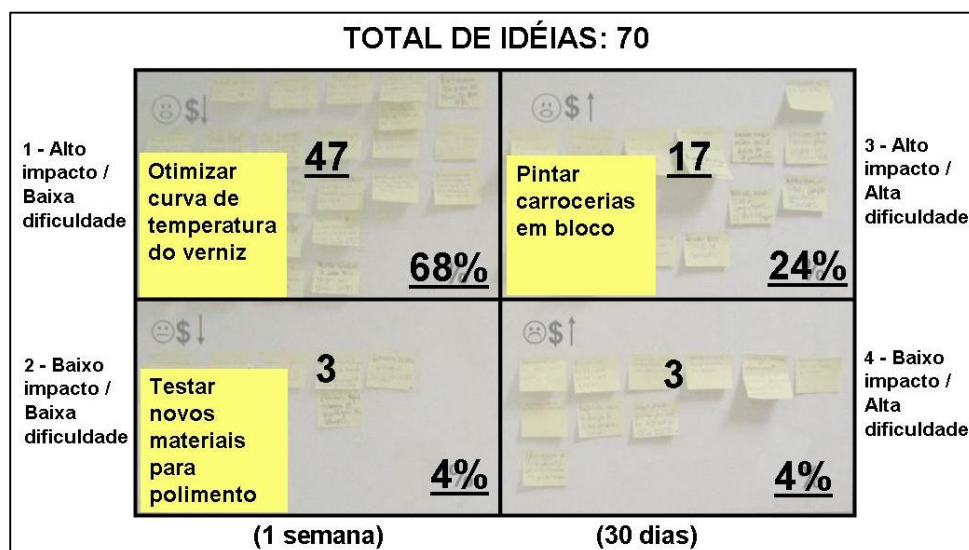


Figura 22: Quadrante de idéias

Fonte: Mercedes-Benz do Brasil (2007)

As idéias geradas pela equipe Kaizen serviram de base para dar continuidade ao projeto Lean Sigma. A partir do brainstorming foi definido um plano de ação para o projeto com datas limites para execução das mesmas. A figura 23 relaciona os problemas detectados com as respectivas ações definidas e os resultados que se esperavam alcançar com a execução destas.

Item	Qual é o problema ? (O que não deveria estar acontecendo ?)	Ações corretivas ? (O que fazer para eliminar o problema)	Resultado (Quais benefícios serão obtidos)	Responsável (Integrante do Time de Kaizen)	Alvo (Data Limite)	Status
1	Cura do Verniz	1 - Adequar Temperatura e/ou Velocidade do Secador Verniz 2 – Testar Verniz Proglass IV	Melhorar reticulação do Verniz	Lean Sigma	11/09/2007	
2	Falta de dados suficientes no Ponto 7 – A/MF	Criação de um sensor na A/MF durante a realização do Lean Sigma	Obtenção de melhor feedback dos defeitos	Lean Sigma	11/09/2007	
3	Dificuldades no processo de Lixamento / Polimento	Testar Novos Materiais: Boinas / Lixas / Massas de Polimento	Minimizar e/ou eliminar manchas de polimento	Lean Sigma	11/09/2007	
4	Falta de padronização do processo de Polimento	Padronização do processo de polimento	Conformidade nos processos de polimento	Lean Sigma	11/09/2007	
5	Acúmulo de Cristal de Verniz no sino da ESTA Verniz	Executar a lavagem do sino ESTA Verniz	Eliminar a formação de cristais de Verniz no sino	Lean Sigma	11/09/2007	
6	Excesso de pontos retrabalhados na Área Branca	Nivelar o critério de avaliação dos defeitos - A/EQ - Pintura	Redução de pontos a serem retrabalhados diminuindo a probabilidade de aparecimento de manchas de polimento	Lean Sigma	11/09/2007	
7	Sujeira	1 – Pintar em bloco 2 – Sistema de Filtração de tintas 3 – Otimização da utilização do Tanquinhos	Redução na ocorrência de sujeiras	Lean Sigma	11/09/2007	

Figura 23: Quadro de Ações Lean Sigma

Fonte: Mercedes-Benz do Brasil (2007)

A realização do Kaizen representou as três primeiras etapas do ciclo DMAIC: as fases de definição do problema e metas do projeto, da medição do sistema e da análise dos dados.

Os objetivos do Kaizen determinados no início da semana Kaizen e listados anteriormente foram atingidos. O sistema de medição de defeitos foi avaliado e identificou-se a necessidade de nivelar os critérios de avaliação de defeitos entre o setor de Produção e o de Qualidade da Pintura. Percebeu-se que os critérios adotados pela Produção eram mais rigorosos do que os da Qualidade, gerando assim a realização de uma quantidade de retrabalhos maior do que realmente eram necessários.

3.5.3. Etapa de Melhoria

Na etapa de melhoria as ações Lean Sigma definidas no plano de ação foram desmembradas e implantadas. Porém algumas das ações não atingiram o resultado esperado e outras não foi possível a implantação. Neste item serão apresentados alguns dos testes realizados, os resultados e conclusões dos mesmos, além dos motivos da não implantação de algumas das ações.

3.5.3.1. Coleta de Dados no Ponto 7 – Finish Montagem Final

Conforme já mencionado anteriormente, não existia uma auditoria do produto realizada em 100% dos carros produzidos. Para que fosse possível realizar o acompanhamento dos testes e da eficácia dos mesmos era necessário implantar um sistema de controle que fornecesse dados diários confiáveis.

Esse controle foi implantado durante a semana Kaizen e mantido durante a realização do projeto Lean Sigma. Consistiu em manter um colaborador qualificado controlando os carros quando estes chegavam no Ponto 7 (Finish) da Montagem Final.

Esse colaborador era responsável por avaliar toda a superfície do carro, marcar as manchas de polimento que aparecessem e realizar novo polimento nas áreas necessárias até que as manchas desaparecessem. Também era responsabilidade desse colaborador preencher um formulário, que já continha o MDS (código de identificação da carroceria) do carro, com as informações da data que o mesmo havia sido avaliado e a quantidade de manchas encontradas com os respectivos locais de ocorrência.

O formulário preenchido era entregue ao líder do projeto (co-orientador deste trabalho) para que pudessem ser alimentadas as estatísticas que permitiam avaliar a eficácia dos testes.

3.5.3.2. Alteração da Temperatura do Secador

Um dos primeiros testes realizado foi aumentar a temperatura do secador de verniz. Durante a semana Kaizen constatou-se que os colaboradores da Área Branca estavam tendo dificuldades para realizar o processo de lixamento e polimento do verniz Progloss 1 (Fornecedor BASF). A partir da análise da temperatura objeto que estava sendo adotada no processo (vinte minutos a 130°C) levantou-se a hipótese de que o verniz estaria na condição de subcurado.

A partir de informações técnicas fornecidas pelo representante da BASF e integrante da equipe Lean Sigma, decidiu-se aumentar a temperatura do secador, com o objetivo de se trabalhar na temperatura objeto ideal (vinte e dois minutos a 140°C), podendo a mesma atingir o máximo de 155°C a dez minutos, sem que houvesse comprometimento da qualidade do produto. Esperava-se, com essa ação, melhorar o processo de cura do verniz.

Essa ação foi implantada de 14 de junho de 2007 à 30 de outubro de 2007. Com essa ação houve uma melhora significativa nas estatísticas das manchas no início do teste, porém essa melhoria não foi mantida. Além disso, a temperatura objeto de alguns pontos da carroceria estava atingindo valores maiores dos que os permitidos pela Qualidade. Por causa desses fatores essa ação foi descartada.

3.5.3.3. Teste Verniz Progloss IV

O teste do verniz *Progloss IV* foi uma das ações que foram propostas na semana Kaizen, mas que não foram implantadas.

Através de um contato realizado com colaboradores alemães de unidades da Daimler que já utilizavam esse material, foram recebidas informações de que esse verniz também apresentava problemas freqüentes de aparecimento de manchas de polimento e que não era aconselhável realizar a troca do verniz.

Baseado nessas informações decidiu-se não realizar o teste pelo fato do mesmo ter se tornado desnecessário.

3.5.3.4. Lavagem do sino ESTA Verniz

O objetivo dessa ação era reduzir a formação de cristais de verniz na máquina ESTA. Esses cristais que se formavam eram eliminados juntamente com o verniz durante a aplicação do mesmo nas carrocerias gerando assim o defeito de pintura denominado cristal de verniz. A ocorrência dessa falha, como já citado anteriormente, geravam retrabalhos aumentando a probabilidade de aparecimento das manchas.

Era importante que essa redução ocorresse não só pela redução das manchas, mas também para melhorar a DPU da Área Branca e garantir que os índices de eficiência de linha (medida através da razão entre o tempo total de paradas de linha pelo total disponível para a produção) se mantivessem acima da meta que era de 82%.

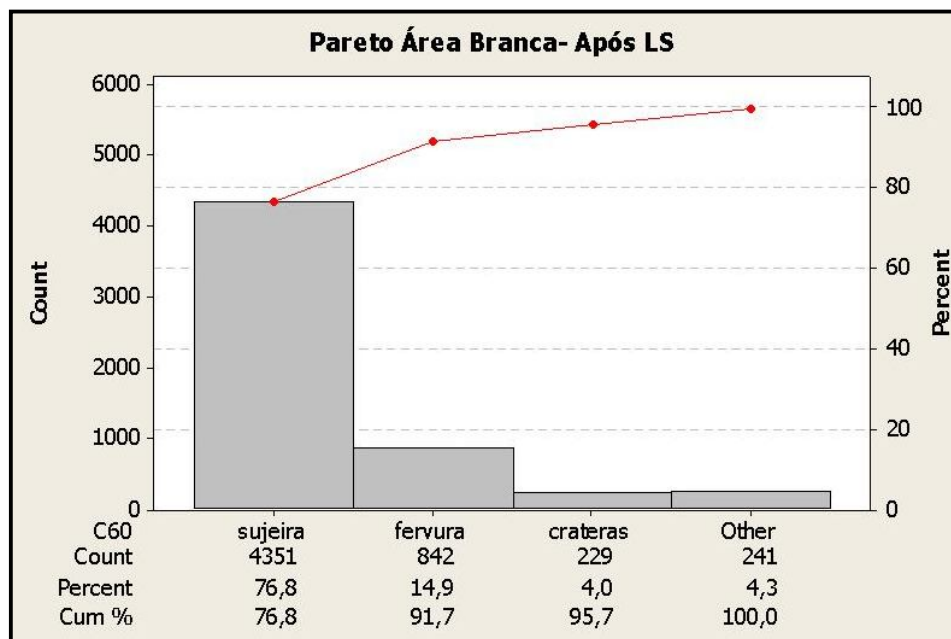


Figura 24: Pareto das Falhas de Pintura identificadas na Área Branca após o Lean Sigma

Fonte: Mercedes-Benz do Brasil (2008)

A figura 24 apresenta os dados das principais falhas de Pintura identificadas na Área Branca no período de 05 a 10 de maio de 2008. Comparando-se com a figura 18, na qual os cristais de verniz representavam 27,4% dos defeitos, constata-se que a redução foi tão representativa que esse defeito não aparece no gráfico, estando incluído na classe 'outros'.

O gráfico mostra também que a porcentagem de falhas de sujeira aumentou (de 48,8% para 76,8%), porém a quantidade absoluta comparada com a quantidade apresentada na figura 18 diminuiu.

3.5.3.5. Nivelamento dos critérios de avaliação de falhas

O nivelamento dos critérios de qualidade entre a Produção e o setor de Qualidade da Pintura foi iniciado na semana seguinte ao encerramento da semana Kaizen. Essa ação tinha por objetivo reduzir os retrabalhos realizado na Área Branca e consequentemente a probabilidade de aparecimento das manchas.

A implantação dessa ação se deu através de um colaborador do setor de Qualidade que acompanhou durante alguns dias a produção, permanecendo na Área Branca durante todo o turno e auxiliando aos colaboradores da área na marcação dos defeitos e na conscientização destes de quais falhas eram toleráveis.

Em um carro teste, primeiramente foi avaliado pela Produção, quais os pontos, dentro do critério da mesma, deveriam ser lixados. Nessa avaliação foi encontrado um valor de 50 pontos. Após esta avaliação da produção, o mesmo carro foi avaliado pela qualidade, identificando-se somente 22 pontos que deveriam ser lixados. Este “nivelamento de qualidade” foi replicado para toda a linha de produção da Área Branca através de treinamento “*on the job*”. Este treinamento faz-se necessário toda vez que ocorre “*job rotation*” ou a inserção de novos colaboradores na equipe.

O resultado dessa ação foi satisfatório, o que pode ser comprovado através da redução na DPU (defeitos por unidade) da área. A figura 25 mostra que a média da DPU após o Lean Sigma foi reduzida para 10,89 retrabalhos/carroceria. Essa redução foi obtida através da ação de nivelamento dos critérios e também devido às ações de redução de falhas, principalmente cristais de verniz, conforme já comentado no item anterior.

Os dados das últimas semanas mostram uma tendência de crescimento na DPU. Essa tendência ocorreu devido à uma variação sazonal no processo que resultou no aparecimento da falha denominada fervura. Pode-se constatar através da figura 24 que essa falha passou a representar a segunda causa dos retrabalhos (14,9%). Para conter a ocorrência das fervuras um plano de ação foi desenvolvido e está em processo de implantação das mesmas.

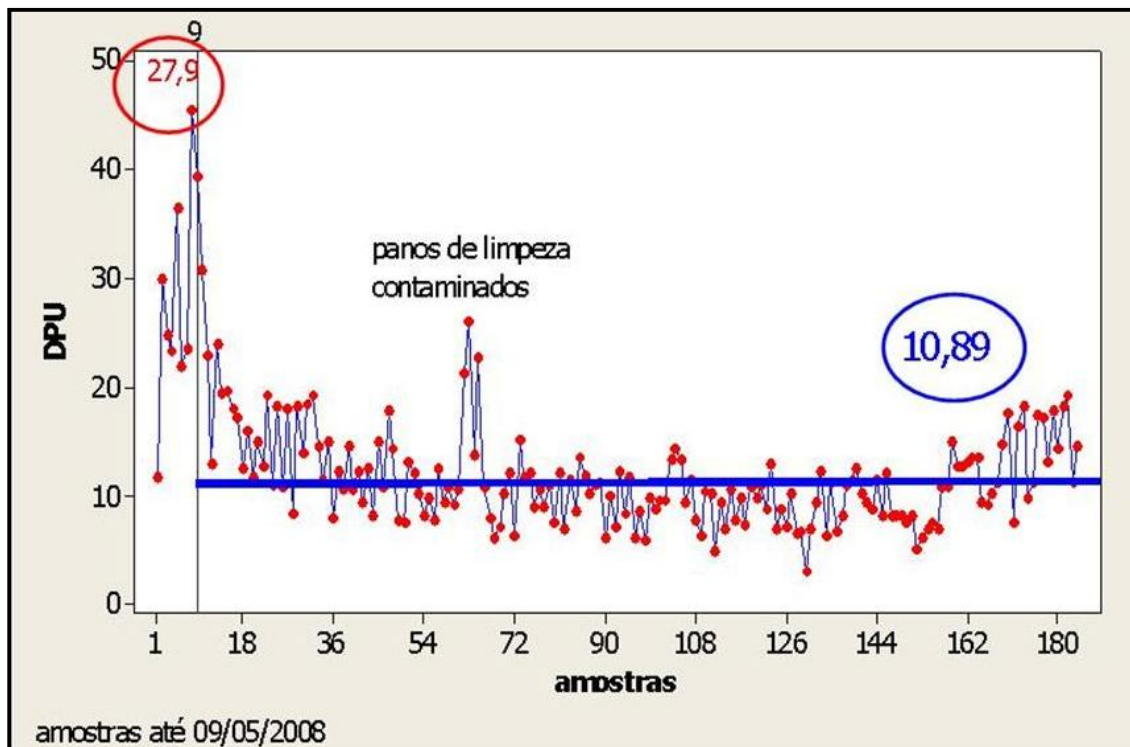


Figura 25: DPU Área Branca após as ações Lean Sigma

Fonte: Mercedes-Benz do Brasil (2008)

3.5.3.6. Novos materiais e meios de produção

Durante o decorrer do projeto foram testados novos materiais, como lixas e líquidos de polimento, e meios de produção como boinas de espumas e politrizes.

No processo produtivo adotava-se uma lixa 3000 e um líquido de polimento Extra Fine (ambos fornecidos pela 3M). Como meios de produção eram adotados politrizes de alta frequência e boinas de lã.

Através de constantes contatos com o fornecedor 3M e visitas técnicas de representantes do mesmo na planta, foram apresentados opções de materiais e meios de produção para teste.

Foram testados uma nova lixa (lixa 4000) menos abrasiva que a adotada e um líquido de polimento (Purple) que é mais abrasivo e proporciona melhor acabamento que o Extra Fine .

Os testes com a lixa 4000 não foram realizados em toda a carroceria pelo fato de que os retrabalhos com essa lixa demandavam mais tempo de lixamento devido à menor agressão da superfície pela lixa (menor rendimento). Se os testes fossem realizados em toda a carroceria o tempo de processo seria maior que o takt de linha. Também não foi possível realizar os testes com o líquido de polimento Purple e as novas politrizes e boinas em toda a carroceria por causa da quantidade disponível limitada dos mesmos. Optou-se

então por realizá-los apenas nos capôs, que eram os locais de maior incidência das manchas.

Foram realizados inúmeros testes utilizando a combinação entre os materiais e ferramentas disponíveis. No próximo item é abordado o processo que apresentou melhor desempenho entre todos os testes realizados e devido a isso foi escolhido como o processo a ser adotado.

3.5.3.7. Definição de um novo processo

A partir dos vários testes realizados com as combinações dos materiais e meios de produção disponíveis foi definido um novo processo para a realização de retrabalhos (lixamentos e polimentos). Tinha-se por objetivo definir um processo robusto, que apresentasse menor variabilidade (manutenção das taxas de ocorrência das manchas), que reduzisse a probabilidade de ocorrência das manchas através de uma menor agressão à superfície do verniz e um melhor acabamento do mesmo e que garantisse o controle da qualidade do processo.

As mudanças que foram realizadas no processo são abordadas na tabela 04 onde é feito um comparativo entre os processos. O novo processo foi denominado “Purple” devido ao líquido de polimento utilizado.

Tabela 04: Comparativo entre Processos Antes e Após o Lean Sigma

Processo Antes Lean Sigma	Processo Purple (pós Lean Sigma)
Lixa 3000	Lixa 4000
Polidor Extra Fine	Polidor Purple
Boina de lã	Boina de Espuma 3”
Politriz de Alta Freqüência	Politriz Pneumática
Líquido borrifador: Água	Álcool Isopropílico 25%

Fonte: Mercedes-Benz do Brasil (2008)

A mudança do polidor Extra Fine para o Purple visava tornar o polimento um pouco mais abrasivo, retirando-se assim as possíveis marcas de lixa do processo de lixamento.

A boina de espuma proporciona melhor acabamento da superfície lixada, garantindo-se assim um melhor acabamento superficial e evitando também o aparecimento de hologramas (áreas embaçadas na superfície da carroceria). Além disso, pelo menor diâmetro, é possível concentrar o polimento somente na área necessária.

A água utilizada no processo de lixamento também foi substituída pelo álcool isopropílico a 25% com a finalidade de evaporar os solventes contidos no polidor, acelerando-se o processo de secagem e revelando as possíveis manchas na superfície,

permitindo assim que o colaborador possa avaliar instantaneamente o seu trabalho e realizar um novo polimento caso seja necessário, ou seja, retrabalhar as manchas ainda na Área Branca.

Portanto, houve uma mudança significativa em todos os materiais do processo de lixamento e polimento na Área Branca. É importante salientar que, até chegar na definição deste processo, vários outros foram testados sem sucesso.

A implantação desse processo demandou a aquisição de novas lixadeiras e politrizes pneumáticas. A mudança nas politrizes proporcionou também melhoria ergonômica, uma vez que estas são mais leves e possuem uma melhor “pega”, facilitando a realização da atividade pelo colaborador.

3.5.4. Controle

A fase de controle do processo “Purple” foi realizada durante 5 semanas (semanas 14 a 18 de 2008). Neste período foram avaliadas 847 carrocerias no Finish da Montagem Final. A figura 26 apresenta as estatísticas de ocorrência das manchas/capô levantadas durante o período de controle. Pode-se constatar que o processo é robusto com amplitude A igual a 0,12, o que demonstra que o mesmo possui pequena variabilidade.

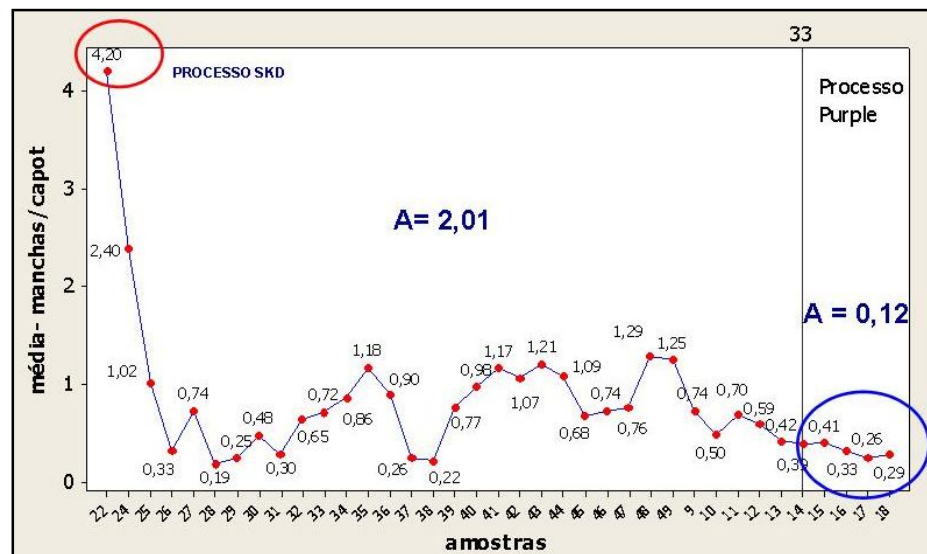


Figura 26: Estatísticas de manchas após o Lean Sigma no Finish da Montagem Final

Fonte: Mercedes-Benz do Brasil (2008)

No cálculo da amplitude anterior ($A = 2,01$) não foi considerado o primeiro dado (4,20) pelo fato deste corresponder à um processo SKD cujas características são diferentes de um processo CKD. No processo SKD a carroceria era recebida da Alemanha com a camada de Primer já aplicada e, por isso, a qualidade do processo de Pintura era inferior à um processo CKD.

O projeto foi finalizado em 16 de maio de 2008. O longo período para conclusão do mesmo deve-se aos diversos testes que a equipe Lean Sigma realizou, principalmente testes de novos processos que melhor atendesse às características do verniz utilizado. Para cada teste foi realizado um período de controle para garantir se as modificações no processo eram robustas e confiáveis.

Capítulo IV – CONCLUSÃO

O projeto Lean Sigma apresentado teve como resultados a redução nos índices de ocorrência de manchas. É importante ressaltar que as manchas não foram eliminadas, apenas mitigadas, uma vez que não é possível eliminar todas as falhas de Pintura. Por isso é necessário que haja um contínuo acompanhamento e contenção dos índices de falhas.

Também é importante destacar que, todas as modificações implantadas dependem de um treinamento adequado dos operadores de produção, uma vez que, novos materiais requerem uma nova qualificação.

A tabela 05 apresenta os resultados do projeto. Com o processo “Purple” foi conseguida uma redução de aproximadamente 92% na média das ocorrências de manchas no capô. E a média de retrabalhos realizados na Área Branca foi reduzida em aproximadamente 60%.

Tabela 05: Resultados do Projeto Lean Sigma

Objetivos	Antes Lean Sigma	Meta	Após Lean Sigma	Redução (%)
Reduzir em 70% a ocorrência das manchas de polimento	4,22 manchas/capô	1,27 manchas/capô	0,34 manchas/capô	91,94
Diminuir retrabalhos na Área Branca	27,9 interferências/carro	-	10,89 interferências/carro	60

Fonte: Mercedes-Benz do Brasil (2008)

O custo do novo processo aumentou em 40% em comparação com o processo anterior devido ao fato do custo da nova lixa e da boina de espuma serem mais elevados que os materiais utilizados anteriormente. Porém esse aumento nos custos é compensado pela redução nos custos totais de retrabalhos, uma vez que as taxas de interferências na Área Branca foram reduzidas e os retrabalhos no Finish da Montagem Final também foram reduzidos.

Os objetivos traçados no início do projeto foram plenamente atingidos. A meta inicial era a redução de 70% da ocorrência de manchas. Para a eliminação total das manchas, pode-se adotar a mudança do verniz utilizado, embora esta solução seja de alto custo, uma vez que será necessária a adaptação dos robôs de aplicação nas cabines de pintura. Novas

tecnologias na fabricação de verniz estão em fase adiantada de testes, bem como novos materiais estão sendo desenvolvidos na área de lixamentos e polimentos para se adequar às novas solicitações das indústrias automobilísticas.

A abordagem do Lean Sigma é simples, mas não significa que seja fácil. Diferentemente do que se acredita, a ferramenta não se ocupa da qualidade da forma tradicional, ou seja, a conformidade com normas e requisitos, na verdade, o programa redefine qualidade como o valor agregado por um esforço produtivo e busca que a empresa alcance os seus objetivos estratégicos.

Tendo-se a variabilidade dos processos como foco, procura-se desta forma uma melhoria contínua dos processos, evitando-se desperdícios, padronizando ações de contenção e solução de problemas, influenciando diretamente na qualidade e baixo custo dos produtos, satisfazendo, enfim, a razão maior da existência da empresa, que são os seus clientes.

A ferramenta Lean Sigma, mais uma vez mostrou a sua validade, o projeto foi avaliado por um espaço de tempo relativamente grande, o que propiciou uma análise mais apurada das variáveis envolvidas no processo. A abordagem estatística nos dá uma confiança maior nos resultados alcançados, uma vez que os “sentimentos” e “achismos” nos conduz para uma avaliação muito superficial e imediata.

Em função da estabilidade e da pequena variabilidade após a implantação das melhorias, o projeto foi encerrado.

BIBLIOGRAFIA

AGUIAR S. **Integração das ferramentas da qualidade ao PDCA e ao Programa Seis Sigma**. Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviços Ltda, 2006.

ANTUNES, J. A. V. In SHINGEO, S. **O Sistema Toyota de Produção do ponto de vista da Engenharia de Produção**. 2 ed. Porto Alegre: Artes Médicas, 1996.

ARIENTE, M.; CASADEI, M.A.; GIULIANI, A.C; SPERS.E.E; PIZZINATTO, N.K. **Processo de Mudança Organizacional: estudo de caso do Seis Sigma**. In Ver. FAE, v.8, n.1, Curitiba, jan. /jun. 2005

CALADO V. **Apostila de Estatística**. Rio de Janeiro, 2002. Disponível em <<<http://www.estadistica.eng.br/Caladocap1.pdf> >>. Acesso em 31 de outubro de 2007.

CAMPOS, Vicente Falconi. **Controle da Qualidade Total (no estilo Japonês)**. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1992.

CROSBY, Philip B. **Qualidade é investimento**. Rio de Janeiro: José Olympio, 1999.

Daimler. Disponível em Intranet: <<<http://intra.daimlerchrysler.com.br>>>. Acesso em 15 de outubro de 2007.

DEMING, William Edwards. **Saia da crise**. São Paulo: Futura, 2003.

HEGEDUS. **Apostila de Gerenciamento da Qualidade Total**, 2004. Disponível em <<<http://www.ulbra-to.br/ensino/downloads/download.asp?arquivo=%7B999C8CC9-21A8-429E-B04B-E595B440E48D%7D/>>>>. Acesso em 29 de outubro de 2007.

Scielo Brazil <<<http://www.scielo.br/img/revistas/rem/v56n2/0027i06.gif>>>. Acesso em 28 de outubro de 2007

Indústria automobilística brasileira: 50 Anos, 2006. Disponível em Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA) <<<http://www.anfavea.com.br/>>>. Acesso em 28 de outubro de 2007.

LIKER, J. K. **The Toyota way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer.** McGraw Hill, 2004.

MONTGOMERY, D.C.; RUNGER George C. **Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros.** Rio de Janeiro: LTC, 2003.

MOURA, José A.M. **Os frutos da qualidade.** 3. ed. São Paulo, Makron Books, 1999.

OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala.** 1 ed. Porto Alegre: Artes Médicas, 1997.

RIANI, A. M. **Estudo de caso: o lean manufacturing aplicado na Becton Dickinson.** Juiz de Fora: UFJF, 2007.

SHARMA,A.;MOODY,P.E. **A Máquina Perfeita: Como vencer na nova economia produzindo com menos recursos.** São Paulo: Prentice Hall, 2003.

SILVA, Jane Azevedo da; **Apostila de Controle da Qualidade I.** Juiz de Fora: UFJF, 2006.

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

TUBINO, D. F. **Manual de Planejamento e Controle da Produção.** São Paulo: Atlas S.A, 2000.

WERKEMA, M. C. C. **Criando a Cultura Seis Sigma.** Nova Lima : Werkema, 2004.

WERKEMA, M. C. C. **Lean Seis Sigma – Introdução às Ferramentas do Lean Manufacturing .** Belo Horizonte : Werkema, 2006.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **A mentalidade enxuta nas empresas: elimine o desperdício e crie riqueza.** 5 ed. Rio de Janeiro: Campus, 1998.