

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
MESTRADO PROFISSIONALIZANTE EM ENGENHARIA**

SEIS SIGMA: UM ESTUDO APLICADO AO SETOR ELETRÔNICO

Delmar Alfredo Flemming dos Reis

Porto Alegre

2003

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
MESTRADO PROFISSIONALIZANTE EM ENGENHARIA**

SEIS SIGMA: UM ESTUDO APLICADO AO SETOR ELETRÔNICO

Delmar Alfredo Flemming dos Reis

Orientador: Professor Dr. José Luis Duarte Ribeiro

Banca Examinadora:

Prof^a. Dra. Carla S. ten Caten

Prof. Dr. José Antônio Esmerio Mazzaferro

Dr. Luis Augusto Colembergue Klujszo

**Trabalho de Conclusão do Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia
apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia –
Modalidade Profissionalizante**

Porto Alegre

2003

Esta dissertação foi analisada e julgada adequada para a obtenção do título de mestre em ENGENHARIA e aprovada em sua forma final pelo orientador e pelo coordenador do Mestrado Profissionalizante em Engenharia, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Prof. Dr. José Luis Duarte Ribeiro
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Orientador

Prof^ª. Dra. Helena Beatriz Cybis
Coordenadora do Mestrado Profissionalizante
em Engenharia

BANCA EXAMINADORA:

Prof^ª. Dra. Carla S. ten Caten
PPGEP/UFRGS

Prof. Dr. José Antônio Esmerio Mazzaferro
PROMEC/UFRGS

Dr. Luis Augusto Colembergue Klujzso
Grupo Gerdau

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. José Luis Duarte Ribeiro, pela orientação precisa, segura e incentivo demonstrados no desenvolvimento deste trabalho.

Aos Srs. José Adão Haas, Renato V. de Boer e Eduardo Lessa, pelo apoio fundamental que viabilizou a execução deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	6
LISTA DE TABELAS.....	7
RESUMO.....	8
ABSTRACT.....	9
1. INTRODUÇÃO.....	10
1.1 COMENTÁRIOS INICIAIS.....	10
1.2 TEMA E OBJETIVOS.....	12
1.3 JUSTIFICATIVA DO TEMA E OBJETIVOS.....	13
1.4 MÉTODO DE TRABALHO.....	15
1.5 LIMITAÇÕES.....	17
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	18
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
2.1 ABORDAGEM SOBRE QUALIDADE.....	20
2.1.1 Histórico da Evolução da Qualidade.....	20
2.1.2 Análise da qualidade sob uma ótica conceitual.....	24
2.1.3. Benefícios da qualidade.....	26
2.2 SATISFAÇÃO DO CLIENTE.....	27
2.2.1 O conceito de satisfação de cliente.....	27
2.2.2 Um resumo histórico do tema satisfação de cliente.....	28
2.2.3 Ampliação do conceito de satisfação de cliente.....	29
2.2.4 Impacto econômico da satisfação do cliente.....	31
2.2.5 Medição da satisfação do cliente.....	33
2.2.6 A satisfação do cliente e o Seis Sigma.....	34
2.3 SEIS SIGMA.....	35
2.3.1 A origem.....	35
2.3.2 A fase pós Motorola - a repercussão do Seis Sigma.....	36
2.3.3 Seis Sigma: Uma visão conceitual.....	37
2.3.4 As principais características do Seis Sigma.....	38
2.3.5 A Medida Seis Sigma.....	40
2.3.6 Medidas usadas no Seis Sigma.....	42
2.3.7 Seleção dos projetos Seis Sigma.....	46
2.3.8 As principais funções envolvidas no Seis Sigma.....	47
2.3.9 As fases do DMAIC e a integração das ferramentas.....	50

3. MODELO PARA A APLICAÇÃO DO SEIS SIGMA.....	60
3.1 ESTRUTURA DO SEIS SIGMA	60
3.1.1 Perfil dos <i>Black Belts</i>	61
3.1.2 Dedicção de tempo dos <i>Black Belts</i>	62
3.2 PROGRAMA DOS TREINAMENTOS NO SEIS SIGMA.....	63
3.3 A ABORDAGEM SELECIONADA PARA O DMAIC	66
3.3.1 Fase de Definição	67
3.3.2 Fase de Medição	70
3.3.3 Fase de Análise	72
3.3.4 Fase de Melhoria	74
3.3.5 Fase de Controle	75
4. AÇÕES EMPREENDIDAS E RESULTADOS OBTIDOS.....	77
4.1 DESCRIÇÃO DA ORGANIZAÇÃO	77
4.2 ESTRUTURA DO SEIS SIGMA	79
4.2.1 Perfil dos <i>Black Belts</i>	80
4.2.2 Dedicção dos <i>Black Belts</i>	80
4.3 TREINAMENTOS NO SEIS SIGMA.....	81
4.4 DESCRIÇÃO DAS AÇÕES E RESULTADOS DA APLICAÇÃO DE PROJETOS	84
4.4.1 Descrição de um projeto específico	84
4.4.2 Situação geral dos projetos Seis Sigma.....	108
4.5 AVALIAÇÃO DA METODOLOGIA SEIS SIGMA	110
4.5.1 Como eram conduzidos os projetos antes do Seis Sigma.....	110
4.5.2 Avaliação da metodologia proposta	111
4.5.3 Análise das atividades e ferramentas utilizadas no ciclo DMAIC	112
4.5.4 Vantagens e desvantagens percebidas antes e após a implantação do método.....	113
5. COMENTÁRIOS FINAIS.....	115
5.1 CONCLUSÕES	116
5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	119
REFERÊNCIAS.....	120

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Modelo do ACSI.....	30
Figura 2: A cadeia satisfação-lucratividade.....	32
Figura 3: Distribuição normal e sua relação com três e seis sigmas	41
Figura 4: Distribuição normal e efeito do desvio da média (<i>shift</i>) no PPM.....	42
Figura 5: Relação entre as variáveis de entrada e de saída.....	43
Figura 6: Estrutura típica do Programa Seis Sigma.....	48
Figura 7: Principais atividades e ferramentas da fase de definição	53
Figura 8: Principais atividades e ferramentas da fase de medição	55
Figura 9: Principais atividades e ferramentas da fase de análise.....	56
Figura 10: Principais atividades e ferramentas da fase de melhoria	58
Figura 11: Principais atividades e ferramentas da fase de controle.....	59
Figura 12: Estrutura planejada no Seis Sigma.....	61
Figura 13: Atividades e ferramentas recomendadas para a fase de definição	67
Figura 14: Atividades e ferramentas recomendadas para a fase de medição	71
Figura 15: Mapeamento do processo e diagrama de causa-e-efeito relacionando as variáveis.....	71
Figura 16: Atividades e ferramentas recomendadas para a fase de análise.....	73
Figura 17: Atividades e ferramentas recomendadas para a fase de melhoria.....	74
Figura 18: Atividades e ferramentas recomendadas para a fase de controle.....	76
Figura 19: Estrutura do Seis Sigma em uso.....	79
Figura 20: Estrutura interna de um capacitor	85
Figura 21: Bobina do capacitor com os terminais soldados	85
Figura 22: Camada de epóxi cobrindo o corpo do capacitor.....	86
Figura 23: Carta de projeto objetivando redução de PPM.....	88
Figura 24: Fluxograma com a integração das ferramentas para a redução do PPM	89
Figura 25: Exemplo de mapa de raciocínio (parcial)	91
Figura 26: Mapeamento detalhado para a variável de saída “furos no revestimento”	92
Figura 27: Relação entre variáveis de entrada e de saída do processo / produto e projeto	93
Figura 28: Gráfico seqüencial apresentando a evolução do PPM	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Partes por milhão (PPM) fora de especificação para vários desvios-padrões	41
Tabela 2: Comparação do PPM (com e sem desvio) com os índices C_p e C_{pk}	44
Tabela 3: Comparação entre os papéis	50
Tabela 4 : Programa de treinamento dos <i>Champions</i>	64
Tabela 5: Programa de treinamento dos <i>Black Belts</i>	65
Tabela 6: Programa de treinamento dos <i>Green Belts</i>	66
Tabela 7: Matriz de priorização.....	96
Tabela 8: Fatores e níveis do experimento L_{12}	97
Tabela 9: Arranjo ortogonal L_{12} baseado em Peace (1993).....	99
Tabela 10: Arranjo ortogonal L_{12} apresentando os níveis reais das variáveis.....	100
Tabela 11: Resultados tabulados para cada um dos experimentos (tratamentos).....	101
Tabela 12: Avaliação de cada um dos fatores	102
Tabela 13: Apresentação dos efeitos dos fatores.....	103
Tabela 14: Resultados da aplicação da transf. $\hat{\Omega}$ para o defeito "furo"	105
Tabela 15: Resultado da aplicação da transf. $\hat{\Omega}$ para o defeito "peça descoberta"	105
Tabela 16: Resultados da aplicação da transf. $\hat{\Omega}$ para o defeito "corpo estranho"	105
Tabela 17: Acompanhamento do PPM durante seis meses	107
Tabela 18: Resumo da situação dos projetos Seis Sigma.....	109

RESUMO

O tema deste trabalho é a metodologia Seis Sigma. O objetivo principal é apresentar e desenvolver uma metodologia para aplicação do Seis Sigma e desenvolver estudo aplicado. Inicialmente, é realizada uma revisão bibliográfica, enfocando os temas qualidade, satisfação do cliente e Seis Sigma. Na seqüência, é apresentada uma proposta de modelo para a aplicação do Seis Sigma em processos industriais. O modelo proposto aborda a estrutura para aplicação do Seis Sigma, os treinamentos e as principais atividades e ferramentas do ciclo DMAIC (*Define, Measure, Analyse, Improve e Control*). O modelo proposto é aplicado através de uma série de projetos. Um desses projetos é descrito detalhadamente, ilustrando o modelo proposto. Os resultados apresentados na aplicação do Seis Sigma são amplamente positivos. Os resultados obtidos abrangem melhorias radicais de qualidade, produtividade e custos. As atividades e ferramentas que apresentaram melhores resultados são destacadas. Apesar do Seis Sigma estar associado à aplicação intensiva de estatística, verifica-se que, de um modo geral, o Seis Sigma pode ser aplicado de um modo mais simplificado.

Palavras chaves: Seis Sigma, Engenharia da Qualidade, Ferramentas Estatísticas.

ABSTRACT

The subject of this work is the Six Sigma methodology. The main purpose is to present and develop a methodology for Six Sigma application, illustrating through a case study. First, a literature review, focusing on the items quality, customer satisfaction and Six Sigma methodology, is carried out. Next, a model proposed for Six Sigma application in industrial processes is presented. The proposed model deals with the structure for Six Sigma application, the training of the people involved and the main activities and tools of the DMAIC cycle (Define, Measure, Analysis, Improve, Control). The proposed model is applied to many projects. One of these projects is described in detail, illustrating the proposed model. The results achieved with Six Sigma are very positive. The results include breakthrough improvements in quality, productivity and costs. The activities and tools that show best results are emphasized. Despite the association of Six Sigma with intensive statistical application, it is possible to verify that this methodology can be applied in a more simplified way.

Key Words: *Six Sigma, Quality Engineering, Statistical tools.*

1. INTRODUÇÃO

1.1 COMENTÁRIOS INICIAIS

O cenário econômico mundial está em um processo acelerado de mudanças nas duas últimas décadas. O comércio mundial está crescendo, com a existência de uma ampla gama de produtos e serviços à disposição (KOTLER, 1998), (NAUMANN, *et al.*, 2001). O valor agregado dos produtos está aumentando, decorrente da aplicação de tecnologia e ganhos de qualidade. Quanto maior o valor agregado de um produto, menor a influência do custo de transporte dos locais de produção para os de consumo. Isso traz como consequência, uma concorrência, em nível global, cada vez maior. Deming (1994) sintetizou essa situação afirmando que o “mercado é o mundo”.

O mercado brasileiro esteve fechado até o início dos anos 90. Com a abertura de mercado ocorrida nesse período, os produtos nacionais ficaram mais expostos à concorrência dos produtos importados. Os consumidores nacionais passaram a ter uma grande variedade de opções importadas, muitas vezes com uma melhor relação custo-benefício (ROCHA e CHRISTENSEN, 1999). Nesse cenário, para sobreviverem, as empresas nacionais necessitaram melhorar seus produtos e processos. No entanto, somente o aprimoramento

contínuo não é mais suficiente para garantir a competitividade das empresas, sendo necessária a obtenção também de melhorias radicais (*breakthrough*).

Diversas empresas com atuação expressiva no ramo eletroeletrônico estão apresentando bons resultados operacionais decorrentes da aplicação de uma metodologia denominada de Seis Sigma. Empresas que tradicionalmente apresentavam resultados financeiros em torno de dez por cento estão conseguindo resultados acima de quinze por cento. Esse fato tem repercutido nas bolsas de valores, como por exemplo, na bolsa de *Wall Street* (HARRY *et al.*, 2000). Por conseqüência, está ocorrendo um interesse crescente por programas de melhoria que focalizem também em ganhos financeiros.

O setor eletrônico possui como principais características com relação à competitividade, a qualidade dos produtos, a confiabilidade e a contínua redução de custos. Atualmente, o mercado consumidor não admite falhas nos produtos. A qualidade, que era avaliada através da porcentagem de produtos com defeitos, está sendo medida em partes por milhão (PPM). Essas características têm obrigado às empresas a buscar continuamente melhorias em qualidade e produtividade.

Se existirem dois produtos que exercem aproximadamente a mesma função, um provavelmente deixará de existir e será aquele que apresentar a menor capacidade de atender às necessidades dos clientes. Dentre as principais necessidades dos clientes e fatores de diferenciação estão o custo e a qualidade.

Praticamente não existem mais produtos considerados como *commodities* puros. Sempre é possível haver diferenciação. A diferenciação pode ser realizada através da entrega de algum benefício. Entre esses benefícios, pode-se incluir produtos com melhor qualidade e com um custo menor (LEVITT, 1990).

Para a obtenção das melhorias necessárias, estão disponíveis diversos métodos, tais como, controle estatístico de processo (CEP), projetos de experimentos (DOE), desdobramento da função qualidade (QFD) e outros. Em especial, com relação às técnicas estatísticas, apesar de seu potencial, existe dificuldade para a sua utilização. Quando essas técnicas não produzem o resultado desejado, ocorre o descrédito. O descrédito dificulta a implantação de novos programas. Outro aspecto, onde as empresas possuem dificuldade, reside na utilização das técnicas estatísticas e não-estatísticas de uma maneira integrada.

Mesmo dispondo de uma ampla gama de métodos de melhoria disponíveis, as empresas têm apresentado dificuldades em obter lucros compatíveis com suas expectativas. Entre os motivos citados, está a ineficácia dos programas de qualidade tradicionais (HARRY *et al.*, 2000). Como os programas de qualidade tradicionais afetam a lucratividade de modo insuficiente, por conseqüência, os assuntos de qualidade dificilmente fazem parte das preocupações da alta gerência. Não motivando diretamente a alta gerência, por conseqüência não há uma priorização dos programas de qualidade.

1.2 TEMA E OBJETIVOS

O tema deste trabalho é a metodologia Seis Sigma, a qual oferece estrutura para conduzir projetos de melhoria de qualidade, produtividade e redução de custos.

O objetivo geral é apresentar e adaptar metodologia para a aplicação do Seis Sigma e desenvolver um estudo aplicado utilizando a metodologia proposta avaliando resultados que podem ser obtidos a partir do seu uso.

O objetivo específico consiste em aplicar a metodologia Seis Sigma aos processos de uma empresa do ramo eletro-eletrônico, gerando resultados tanto do ponto de vista financeiro como referente à qualidade do processo e produto.

1.3 JUSTIFICATIVA DO TEMA E OBJETIVOS

As empresas estão buscando novos caminhos para aumentar a sua lucratividade. (HARRY *et al.*, 2000). Uma das formas de aumentar a lucratividade pode ser explicada pela reação em cadeia citada por Deming (1986). A melhoria da qualidade resulta em uma redução nos custos, aumento de produtividade, incremento nas fatias de mercado, permanência no negócio e aumento na oferta de empregos.

Como a metodologia Seis Sigma busca a obtenção de melhorias radicais em termos de qualidade, produtividade e custos, conseqüentemente, ela influencia a lucratividade das organizações, fator decisivo para a sobrevivência das empresas. Diversas empresas apresentaram resultados expressivos através da aplicação da metodologia Seis Sigma. Entre essas empresas, podem ser destacadas a General Electric (GE), Sony, Samsung e Motorola (BREIFOGLE III *et al.* 2001). Por exemplo, Welch Jr. *et al.* (2001) relataram que a GE obteve resultados espetaculares no ano 2000, quebrando recordes de desempenho. A margem de rendimento operacional atingiu 19%. Deve-se considerar que a GE levou 111 anos para atingir 10%. Em outro exemplo, Yun (2002) apresentou que a empresa coreana Samsung Electronics, espera obter ao final de 2002 uma economia de U\$1,5 bilhões devido aos projetos Seis Sigma. Considerando esses fatos, o tema desta dissertação é um fator que pode ajudar na melhoria do desempenho das organizações, trazendo como conseqüência um aumento de competitividade.

A metodologia Seis Sigma é usualmente apresentada na literatura de forma genérica. Um estudo detalhado, realizado através de um estudo aplicado, poderá revelar aspectos importantes que podem aumentar a possibilidade de sucesso em aplicações futuras da metodologia. No Brasil, a metodologia Seis Sigma está sendo introduzida, em geral, pelas empresas multinacionais norte-americanas. Essas organizações aplicaram a metodologia Seis Sigma em seus países de origem e estão adequando a metodologia à realidade brasileira. No entanto, os relatos dos trabalhos realizados são sucintos, com nível de detalhamento limitado. Assim, existe pouca informação sobre as vantagens e desvantagens da metodologia aplicada à realidade brasileira. Outro fator a ser considerado, é que a metodologia possibilita a integração no momento adequado de diversos métodos estatísticos e não estatísticos, tais como, o QFD, DOE, CEP e outros. Como as empresas possuem uma certa dificuldade em realizar corretamente essa integração, o estudo aplicado também poderá auxiliar as organizações na realização dessa atividade (BREYFOGLE III *et. al*, 2001). Nesse contexto, considerando uma certa carência de informações e a falta de uma maior experiência na aplicação da metodologia Seis Sigma, se justifica o objetivo geral deste trabalho.

A empresa deste estudo aplicado é uma organização de grande porte que fabrica e comercializa componentes eletrônicos. Os mercados de atuação incluem o nacional e o internacional, ocupando, respectivamente, a primeira e segunda colocação nesses mercados. O ramo eletrônico possui uma evolução rápida em termos de qualidade, confiabilidade e redução de custos. Os métodos empregados pela empresa nos programas de melhoria já não estavam mais fornecendo os resultados necessários para o novo cenário. Era necessária a aplicação de uma metodologia com maior poder para atacar esses problemas. A metodologia selecionada foi o Seis Sigma. Para tanto, a alta administração da organização identificou temas relevantes de acordo com os objetivos da organização. Esses temas foram priorizados com a utilização de uma matriz de priorização com a utilização de critérios, tais como, retorno econômico,

atendimento a objetivos estratégicos, redução de defeitos e outros. A matriz de priorização foi baseada em Breyfogle III *et al.* (2001). Os temas priorizados foram definidos como projetos Seis Sigma.

Por exemplo, um dos projetos executados abordou o revestimento em epóxi de capacitores de filme plástico. O revestimento estava apresentando o índice de partes por milhão com defeito (PPM) acima do valor esperado por um importante cliente. Diversas ações estavam em implantação para a redução do PPM. No entanto, o valor do índice PPM atingiu um patamar difícil de ultrapassar. As ferramentas e a abordagem utilizada já não estavam trazendo os resultados necessários. O processo de revestimento epóxi também apresentava potencial de redução de custos. Por exemplo, Snee (2000) citou que os projetos Seis Sigma podem apresentar resultados da ordem de U\$ 175.000 dólares por projeto Seis Sigma. Diversos outros autores, tais como, Breyfogle III *et al.*(2001), Eckes (2001), Harry *et al.* (2000), Pande *et al.* (2001), também têm relatado que as empresas que estão aplicando a metodologia Seis Sigma estão obtendo ganhos de qualidade e financeiros expressivos. Essa situação justifica a aplicação do estudo de caso aos produtos e processos da empresa.

1.4 MÉTODO DE TRABALHO

A abordagem adotada neste trabalho, sob o ponto de vista de sua natureza, é classificada como uma pesquisa aplicada. A pesquisa aplicada tem por intuito a geração de conhecimento para aplicação prática. Sob a ótica do modo de abordagem do problema, este trabalho envolve tanto aspectos de pesquisa quantitativa quanto qualitativa. Na pesquisa quantitativa, o foco é dado à realização de análises numéricas, seguidamente através da

utilização de métodos estatísticos. Por sua vez, na pesquisa qualitativa a ênfase reside na utilização de dados qualitativos e análises não numéricas (SILVA e MENEZES, 2000).

Do ponto de vista dos procedimentos a serem adotados, a pesquisa enquadra-se como uma pesquisa-ação (GIL, 2002). A pesquisa-ação é uma técnica recomendada quando é necessária interação intensa entre o pesquisador e os participantes da empresa. O recurso básico na pesquisa-ação é o esforço comum realizado pelo pesquisador e os participantes da empresa. O problema e a sua solução são vivenciados de modo conjunto. Nessa situação, as informações são compartilhadas e discutidas (COSTA, 2001). Na mesma linha, Thiollent (2002) descreve a pesquisa-ação como um tipo de pesquisa empírica concebida e realizada em estreita associação com uma ação ou a resolução de um problema. Em adição, na pesquisa-ação os pesquisadores e os demais participantes estão envolvidos de forma cooperativa ou participativa. Na pesquisa-ação, os pesquisadores exercem um papel mais ativo do que na pesquisa convencional. É uma forma de experimentação em situação real, com a intervenção consciente dos pesquisadores.

O método de trabalho para desenvolvimento deste estudo aplicado envolve quatro etapas. A primeira etapa consiste na realização de uma revisão da literatura para identificação das principais abordagens relativas ao planejamento e condução de estudos seguindo a metodologia Seis Sigma.

A segunda etapa apresenta a abordagem específica para a aplicação da metodologia Seis Sigma, adaptada às necessidades da organização. Essa atividade foi elaborada a partir da revisão bibliográfica.

A terceira etapa abrange o planejamento e a implantação das técnicas e conceitos da metodologia Seis Sigma, conduzidas sob a forma de pesquisa-ação. O planejamento incluiu, em um primeiro momento, membros da alta gerência. Nessa fase, foram definidas as pessoas que seriam treinadas como especialistas na metodologia Seis Sigma, assim como, os temas

dos projetos Seis Sigma. Os temas foram definidos com base em critérios ou filtros, tais como, benefício econômico, aspecto estratégico, melhoria da qualidade e outros. A partir do treinamento dos especialistas e da definição dos projetos, foram formadas as equipes multidisciplinares para a solução dos problemas. Essas equipes, sob a coordenação dos especialistas Seis Sigma, realizaram um planejamento para a solução dos problemas definidos nos projetos. Na seqüência, foram aplicadas as técnicas da metodologia Seis Sigma para os problemas definidos.

A quarta etapa consiste na análise dos resultados obtidos a partir das ações implementadas. Foi avaliada a evolução obtida, comparando índices de qualidade, produtividade, custo, verificados antes e depois da intervenção.

A quinta etapa envolve a avaliação da metodologia Seis Sigma, onde foram analisadas as vantagens, desvantagens, dificuldades e resistências observadas durante o uso da metodologia.

As atividades-chave da pesquisa, que incluíram a definição de uma abordagem específica para a implantação, a implantação das técnicas e conceitos da metodologia Seis Sigma, assim como a análise dos resultados obtidos e a avaliação da metodologia Seis Sigma, foram realizadas de acordo com os princípios da pesquisa-ação.

1.5 LIMITAÇÕES

O trabalho está limitado à aplicação da metodologia Seis Sigma, através de um estudo prático, em uma organização de grande porte do ramo eletroeletrônico. É possível que a aplicação da metodologia a organizações de outros ramos e tamanhos necessite de adaptações.

Além da metodologia Seis Sigma, existem outras abordagens para melhoria da qualidade, produtividade e custos. Essas outras abordagens não serão consideradas neste trabalho.

As técnicas utilizadas no estudo de caso objetivaram a melhoria de processos industriais. Não foram avaliadas outras técnicas mais específicas, que estão sendo incluídas dentro da metodologia, tais como, projeto para Seis Sigma ou *Lean Sigma*.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está organizado em cinco capítulos. No capítulo 1, são apresentados os comentários iniciais, o tema e os objetivos gerais e específicos do trabalho, incluindo suas respectivas justificativas, o método de trabalho empregado para atingir os objetivos, a estrutura e as limitações do trabalho.

No capítulo 2, é realizada uma revisão bibliográfica que focaliza a metodologia Seis Sigma. Inicialmente, são tratados os temas referentes à qualidade e satisfação do cliente. Na seqüência, é apresentado um detalhamento do Seis Sigma e de suas fases: (i) definição, (ii) medição, (iii) análise, (iv) melhoria e (v) controle.

No capítulo 3, é apresentado o modelo proposto para a aplicação do Seis Sigma. O modelo foi adaptado e detalhado a partir das informações existentes na literatura, em função das necessidades da organização.

No capítulo 4, são apresentadas a descrição do cenário onde foi realizado o estudo aplicado, o planejamento e a apresentação do estudo, incluindo as ações efetuadas, a análise dos resultados obtidos e uma discussão da metodologia para aplicação do Seis Sigma.

No capítulo 5, são apresentadas as conclusões resultantes do trabalho realizado, considerando os limites da pesquisa, assim como sugestões para trabalhos futuros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica corresponde à primeira etapa do método de trabalho usado para o desenvolvimento deste estudo aplicado. A identificação das principais abordagens para aplicação do Seis Sigma é o objetivo principal desta etapa.

2.1 ABORDAGEM SOBRE QUALIDADE

2.1.1 Histórico da Evolução da Qualidade

A qualidade não é um tema recente. Segundo Juran (1995) e (1999), a qualidade é um conceito eterno. Ele relata diversas situações na antiguidade, onde foram utilizados os conceitos de qualidade. Juran (1999) descreve a evolução da qualidade sob a ótica da gestão da qualidade. Nas sociedades primitivas, nos povoados (*villages*), surgiu a divisão do trabalho através dos artesãos e vigorava o princípio do *caveat emptor*. Esse princípio significa que o consumidor deveria precaver-se contra os produtos de má qualidade. O artesão se envolvia geralmente com todo o ciclo do produto. Ele recebia o pedido com as especificações do cliente, adquiria a matéria-prima, produzia o produto, avaliava, entregava para o cliente e

recebia retorno imediato com relação à satisfação do cliente. Isso permitia a realimentação de todo o processo.

Com o aumento do comércio, surgiram cadeias de fornecedores e processadores denominadas de guildas. Essa forma de organização vigorou na Europa medieval (ASQ, 2001). Nas guildas, surgiram as garantias verbais e escritas, assim como existiam especificações, inspeções e a rastreabilidade através de marcações.

A revolução industrial deu origem às fábricas e pequenas oficinas. Essa forma de organização visava o aumento da produtividade e redução de custos. A revolução industrial, através dos trabalhos do engenheiro norte-americano Taylor, especializou o operador. Cada operador era responsável por uma única tarefa. Isso fez com que o operador perdesse a noção da importância do próprio trabalho. Como consequência, surgiu a figura do inspetor, cuja função era realizar a avaliação dos produtos. Esse fator tirou a responsabilidade do operador pela qualidade do produto e os problemas de qualidade aumentaram.

Nas décadas de 20 e 30, Walter Shewhart, dos Laboratórios Bell, desenvolveu as técnicas de controle estatístico de processo (CEP). Essas técnicas foram o início da utilização de métodos preventivos. Apesar de eficaz, o CEP, nesse período, não obteve uma aplicação ampla. Por exemplo, durante a segunda guerra mundial, a principal técnica de qualidade foram os planos de amostragem para inspeção dos produtos.

Como parte do esforço para a recuperação do Japão, após a segunda guerra mundial, o estatístico norte-americano Edward Deming difundiu os conceitos do controle estatístico do processo (CEP) para as empresas japonesas. Essa difusão teve uma característica diferente em relação ao trabalho que Deming realizava nos Estados Unidos. Ao invés de falar para a gerência e o pessoal técnico, Deming passou a falar para a direção e os empresários. Esse fato trouxe, como consequência, uma rápida introdução dos conceitos de controle estatístico e a sua utilização de modo eficaz, fazendo com que os produtos fabricados no Japão (*made in*

Japan), gradativamente, se tornassem sinônimos de qualidade. Juran também deu uma contribuição expressiva para o desenvolvimento da qualidade no Japão. Enquanto o trabalho de Deming foi mais direcionado para a aplicação de métodos estatísticos, Juran enfocou mais os aspectos da gestão qualidade (ISHIKAWA, 1993).

Ao final dos anos 40, surgiram os sistemas da qualidade normatizados, ou seja, sistemas baseados em normas, cujo primeiro padrão relevante é a Mil-Q-9858 (1959) *Quality Program Requirements* (LAMPRECHT, 1996). Nessa época, a preocupação das organizações era mais voltada a segurança, devido às aplicações nas áreas militar, nuclear, naval e aeroespacial. Esses primeiros sistemas da qualidade eram muito complexos e praticamente inviabilizavam a aplicação comercial na maior parte das indústrias convencionais. Os sistemas da qualidade foram baseados na teoria dos sistemas desenvolvida por Bertalanffy (IBP, 1987:22).

Durante a década de 50, o professor Feigenbaum criou o controle da qualidade total (*Total Quality Control – TQC*) na versão norte-americana. Feigenbaum dividiu as atividades da qualidade em quatro trabalhos: (i) controle de projeto, (ii) controle de suprimentos, (iii) controle de execução do produto e (iv) controle de processos especiais (IBP, 1987). Essa abordagem foi uma das precursoras da utilização de sistemas na área da qualidade. Outra contribuição de Feigenbaum foi a utilização da abordagem de custos da qualidade. Os custos da qualidade foram segmentados em custos de prevenção, avaliação e falhas internas e externas (CAMPANELLA, 1990). Os custos da qualidade foram uma iniciativa no sentido de incluir medidas financeiras na gestão da qualidade.

No final da década de 50, o trabalho de Ishikawa deu origem ao chamado TQC no estilo japonês. Essa abordagem estava fortemente fundamentada na participação do pessoal de piso de fábrica, através dos chamados círculos de controle da qualidade (CCQ's). Outra

contribuição importante de Ishikawa foi o diagrama de causa-e-efeito, utilizado para a solução de problemas.

No início dos anos 60, Crosby criou o conceito de zero defeito. Para atingir o zero defeito, as organizações buscavam atuar basicamente na motivação dos funcionários. Isso não funcionou, pois a atuação na motivação somente poderia resolver uma parcela dos problemas. Deming (1986) relata que atuação direta do pessoal, sem envolvimento gerencial, pode resolver em torno de 6% dos problemas (causas especiais), enquanto a gerência tem poder para resolver o complemento, ou seja, 94%, devidos a causas do sistema (causas comuns), cujo poder para solução está na alçada da gerência. Segundo Okes *et al.* (2001), Crosby também cunhou uma expressão que ficou famosa. Ele defendia que a qualidade não custava dinheiro, ou seja, “a qualidade é grátis”.

Em 1987, foram publicadas as normas da série ISO 9001. Essa série de normas foi o resultado da evolução das primeiras normas de sistemas da qualidade, que surgiram nos anos 50. A princípio, essas normas poderiam ser aplicadas a qualquer tipo de organização, ou seja, para fabricação de produtos ou prestação de serviços. No entanto, esses padrões foram escritos baseados em sistemas da qualidade direcionados para a fabricação e existiam dificuldades por parte das empresas de serviços para o seu entendimento e aplicação. Esse fato, associado à excessiva documentação gerada e também por estarem essas normas muito distantes dos modelos de gestão baseados em TQM (*Total Quality Management*), levaram a *International Organization for Standardization* (ISO) a publicar revisões em 1994 e em 2000. Essas normas também são conhecidas como normas de garantia da qualidade. O termo garantia significa assegurar a confiança. A confiança é obtida através de fatos também conhecidos como evidências objetivas. À medida que as evidências são apresentadas, aumenta a confiança do cliente.

No final da década de 80, ganhou impulso o movimento denominado gestão da qualidade total (*Total Quality Management: TQM*). Os trabalhos de Shewhart e de Feigenbaum foram precursores do TQM (OKES *et al.*,2001). O prêmio norte-americano Malcolm Baldrige e o prêmio brasileiro, denominado de Prêmio Nacional da Qualidade (PNQ), avaliam sistemas baseados em TQM. Segundo Jablonski (1992), as principais características do TQM são a gestão participativa, o processo de melhoria contínua e o emprego de equipes. Uma das principais críticas aos modelos baseados em TQM foi a sua falta de capacidade de motivar e envolver a alta gerência, porque os programas baseados em TQM não visavam diretamente ganhos financeiros. Havia dificuldade para incorporar efetivamente o TQM no negócio, pois ele não usava a linguagem da gerência. Esse foi o principal motivo para a focalização das empresas em programas Seis Sigma. Pande *et al.* (2001) e Breyfogle III *et al.* (2001) relatam em detalhes os problemas do TQM.

2.1.2 Análise da qualidade sob uma ótica conceitual

Pode-se dizer que existem tantos conceitos de qualidade, quanto é o número de autores que abordam o tema. Serão apresentados, os conceitos dos principais autores e entidades mais tradicionais.

A norma ISO 9000 (2000) define qualidade como “o grau no qual um conjunto de características inerentes satisfaz a requisitos”. O termo requisito significa alguma condição, por exemplo, uma necessidade ou uma expectativa que deva ser atendida, que é expressa de forma implícita ou obrigatória. A ISO 9000 (2000) também esclarece que o termo qualidade pode ser empregado com adjetivos, tais como, má, boa ou excelente. O termo requisito pode ser qualificado, para distinguir um tipo específico, tal como, requisito de produto ou do cliente. Na mesma linha da definição da ISO 9000:2000, inclui-se a definição de Crosby. Esse

autor define qualidade como: “conformidade com as especificações”. Essa afirmação está muito próxima do conceito da ISO 9000:2000, pois as especificações são um tipo de requisito ou condição a ser atendida (HOYER *et al.*, 2001).

Deming (1986:168) define qualidade como:

“O que é qualidade? Qualidade somente pode ser definida sob o ponto de vista do agente. Quem é o juiz da qualidade? Na mente do trabalhador de produção, ele produz qualidade se possui orgulho de seu trabalho. Má qualidade para o operador significa a perda do negócio e talvez de seu emprego. Boa qualidade para o operador será manter a empresa no negócio”.

As definições de qualidade tipicamente envolvem somente o cliente final, não contemplando usualmente as demais partes interessadas, tais como, os acionistas, a comunidade, os fornecedores e os funcionários. Essa definição de Deming, por colocar a decisão de avaliação da qualidade em poder do agente, pode-se dizer que inclui as demais partes interessadas. Por exemplo, o que é uma empresa com qualidade sob o ponto de vista do acionista? A resposta provavelmente está associada a uma empresa com adequada lucratividade. Desse modo, esse conceito está mais próximo de atender aos padrões relacionados com a qualidade total.

Juran (1999) afirma que a palavra qualidade possui pelo menos dois significados críticos. Primeiro, a palavra qualidade “significa todas as características do produto que atendem as necessidades dos clientes e por conseqüência satisfazem o cliente”. Nesse sentido, a qualidade pode custar mais devido aos investimentos para prover mais características aos produtos. Segundo, “qualidade significa a ausência de deficiências”, ou seja, ausência de falhas que afetam o cliente. Segundo Juran, também existe algum esforço para criar uma frase curta que reúna os dois significados. Ele sugere como definição de qualidade “adequação ao uso”, porém adverte que dificilmente algum conceito de qualidade será suficientemente abrangente.

A definição de qualidade para Taguchi é: “qualidade é a perda que um produto causa a sociedade depois de ser expedido” (TAGUCHI, 1986:1). Essa definição inclui o conceito de variação, pois quanto menor variação um produto apresentar, menor perda acarretará. Essa definição é rigorosa. Mesmo que um produto atenda as especificações, poderá apresentar uma perda expressiva. Outra característica do conceito de Taguchi é a possibilidade da medição da qualidade ser realizada em termos monetários através da função perda da qualidade.

2.1.3. Benefícios da qualidade

De acordo com Deming (1986:3), existe uma relação em cadeia que associa uma série de benefícios devido ao aumento da qualidade: a melhoria da qualidade traduz-se em diminuição de custos, em função da redução de retrabalho. Na seqüência, aumenta a produtividade, pois conduz a maiores fatias de mercado através da melhor qualidade e menor preço. Como resultado, existe a permanência no negócio, gerando mais e mais empregos. Nessa relação não é citada diretamente a ocorrência de lucratividade. No entanto, existem fontes que apresentam a ligação entre o aumento de qualidade e a lucratividade. Segundo a ASQ (2001), a melhoria da qualidade resulta em maiores fatias de mercados e menores custos, que se traduzem em maiores lucros.

2.2 SATISFAÇÃO DO CLIENTE

A satisfação do cliente tem sido um tema presente na agenda das organizações por diversas razões. Um dos motivos para o expressivo interesse no assunto foi a inclusão da satisfação dos clientes como um requisito do prêmio norte-americano denominado de Prêmio Malcom Baldrige (ALLEN e WILBURN, 2002). Mais recentemente, a norma ISO 9001 (2000) também especificou, como um requisito a ser atendido, a medição da satisfação dos clientes. Adicionalmente, os responsáveis por programas de medição de satisfação de clientes têm sido questionados com relação ao retorno dado por programas de medição da satisfação. Também Kaplan e Norton *apud* Andersen e Fornell (1999) afirmam que medidas financeiras são adequadas para medir o desempenho de atividades passadas, mas pouco contribuem para a previsão do futuro. Para ilustrar essa situação, usam a metáfora do motorista, que olha o retrovisor do automóvel, mas que também precisa olhar para à frente para dirigir adequadamente. Nessa situação, a medição da satisfação do cliente é um complemento para as medidas financeiras, servindo como um indicador do desempenho passado, atual e futuro da organização.

2.2.1 O conceito de satisfação de cliente

A satisfação do cliente é definida por Juran *et al.* (1999), como “um estado do negócio no qual os clientes sentem que as suas expectativas tenham sido atendidas pelas características dos produtos”. Segundo o mesmo autor, a satisfação e a insatisfação não são opostas. A satisfação é obtida das características que induzem o cliente a comprar o produto,

enquanto a insatisfação tem suas origens nas deficiências que fazem com que o cliente reclame. Ainda no que se refere ao conceito de satisfação, Gryna (1999) define satisfação como “o grau no qual os clientes acreditam que as suas expectativas estão sendo atendidas ou excedidas pelos benefícios recebidos”.

Gryna (1999) inclui a satisfação do cliente dentro dos conceitos do comportamento do consumidor. Ele segmenta os conceitos do comportamento do consumidor em: necessidades dos clientes, expectativas dos clientes e satisfação do cliente. As necessidades dos clientes estão baseadas nos estudos de Maslow. Essas necessidades não são criadas, portanto, já existem.

2.2.2 Um resumo histórico do tema satisfação de cliente

Allen e Rao (2001) e Allen e Wilburn (2002) realizaram um resumo do histórico do tema satisfação de cliente. As iniciativas para medição da satisfação nos anos 80 envolviam os direcionadores da satisfação. Os direcionadores da satisfação são os antecedentes da satisfação. Os estudos focalizavam na operacionalização da medição da satisfação e seus antecedentes. Na metade da década de 80, o foco das pesquisas voltou-se para o refinamento dos *constructos* e implementação das estratégias para melhorar a satisfação do cliente decorrentes dos trabalhos de Zeithalm, Berry e Parasuraman. Esses autores propuseram que a relação entre o desempenho percebido e as expectativas era o ponto-chave para a manutenção da satisfação dos clientes. Sobre *constructos*, Guion *apud* Hayes (1998) esclarecem que “no campo da psicologia, um *constructo* é um atributo ou característica inferida a partir da pesquisa”. Posteriormente, Zeithalm, Berry e Parasuraman *apud* Allen e Wilbur (2002) publicaram um segundo trabalho, cujo destaque é o desenvolvimento de uma escala de avaliação de importância e satisfação denominada de SERVQUAL que avalia a qualidade

através de cinco dimensões: (i) tangíveis, (ii) confiabilidade, (iii) capacidade de resposta, (iv) garantia e (v) empatia. O SERVQUAL avalia a relação entre o desempenho percebido e as expectativas, que é o ponto-chave para a manutenção de clientes satisfeitos. O método de medição proposto auxilia na identificação das áreas, nas quais é mais importante tomar as ações. Essas áreas são identificadas como as que possuem o maior desvio (*gap*) entre as expectativas e a satisfação percebida pelo cliente.

Até a década de 90, assumia-se que os clientes satisfeitos propiciavam os maiores lucros. No entanto, existiam poucos dados para apoiar essas suposições. Rust and Zahorik (1993) *apud* Allen e Rao (2000), por exemplo, focalizaram seus estudos na área bancária (varejo). Seu trabalho relacionou satisfação do cliente, fidelidade e lucratividade. Os autores concluíram que as taxas de satisfação direcionam as participações de mercado, e a satisfação era um determinante primário da fidelidade.

2.2.3 Ampliação do conceito de satisfação de cliente

Andersen e Fornell (1999) afirmam que a satisfação do cliente não pode ser medida diretamente. O sistema de medição da satisfação necessita estar incluído em um modelo de causa e efeito com outros *constructos*. A satisfação do cliente e os outros *constructos* são variáveis latentes que não podem ser medidos diretamente. Allen e Rao (2000) definem variáveis latentes como “uma variável que não é inerentemente observável. As variáveis latentes são tipicamente medidas através do uso de questionários com escalas pré-determinadas, as quais ostensivamente refletem os *constructos* latentes básicos”. Segundo Andersen e Fornell, “a satisfação do cliente possui três antecedentes: qualidade percebida, valor percebido e expectativas dos cliente”. O método norte-americano para medição da

satisfação de clientes (*American Customer Satisfaction Index – ACSI*) está fundamentado nesse modelo (Figura 1).

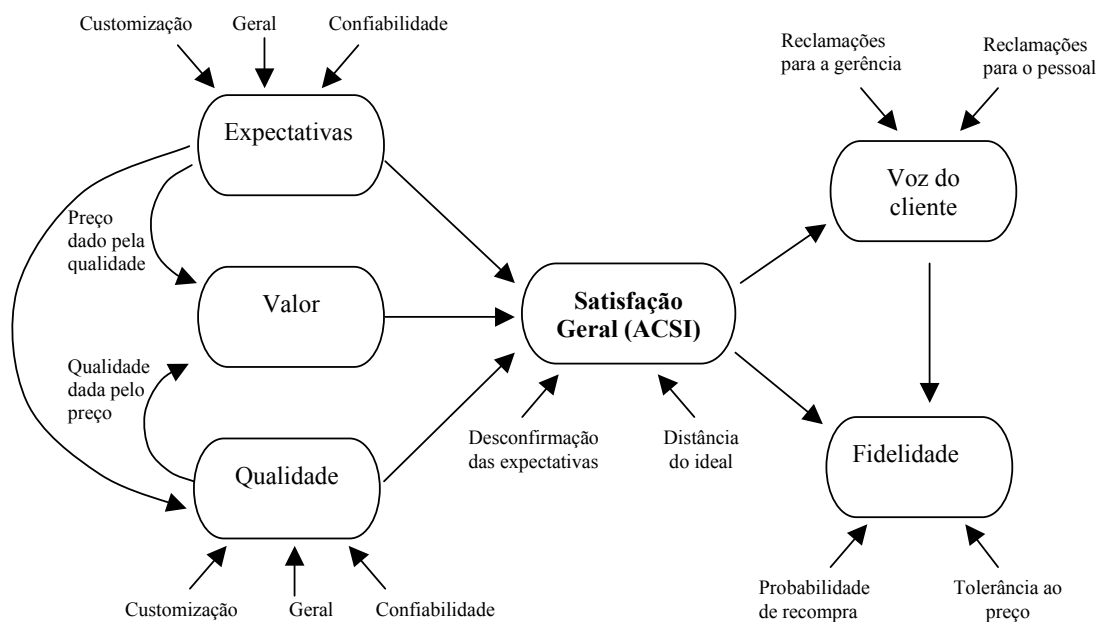


Figura 1: Modelo do ACSI

Embora a satisfação de clientes seja bastante utilizada, alguns pesquisadores têm proposto alternativas à medição da satisfação dos clientes, tais como, o valor percebido pelo cliente e a fidelidade do cliente. O valor é fornecido pela relação entre preço e qualidade. A fidelidade está relacionada a reações mais emotivas, sendo considerada dependente da satisfação (ALLEN e WILBURN, 2002). Allen e Wilburn (2002) apresentam um modelo que relaciona a satisfação dos clientes, valor e fidelidade, de modo semelhante ao proposto por Andersen e Fornell (1999).

Reforçando a ligação da satisfação do cliente com outros *constructos*, Hirschmann *apud* Andersen e Fornell (1999) em sua teoria denominada de saída, voz e lealdade, afirma que as conseqüências imediatas da satisfação do cliente são a diminuição das reclamações e o aumento da fidelidade.

2.2.4 Impacto econômico da satisfação do cliente

As pessoas que tomam decisões nas organizações são questionadas com relação ao impacto financeiro de suas decisões. Essa situação se acentua quando as decisões envolvem assuntos relacionados à qualidade e a satisfação dos clientes, por serem temas que não são facilmente avaliados financeiramente. Uma das principais medidas de avaliação do desempenho das empresas é o valor de suas ações na bolsa de valores. Essa focalização nos clientes pode causar impactos financeiros relevantes, com repercussão nas bolsas de valores, tais como, aumento das fatias de mercado, incremento na lealdade dos clientes, melhorias de processo e elevação da satisfação do cliente (NAUMANN e HOISINGTON, 2001). Como um exemplo da influência da satisfação do cliente no desempenho econômico, Andersen e Fornell (1999) afirmam: “cada ponto de aumento da satisfação do cliente, representa um ganho anual líquido de US\$ 7,48 milhões de dólares para um empresa típica da Suécia”.

Relação da Lucratividade com o Valor

Naumann e Hoisington (2001) relatam que a participação no mercado é um excelente indicador da lucratividade de diversas indústrias. A lucratividade, por sua vez, é o principal direcionador do preço das ações nas bolsas de valores. Os mesmos autores relatam que a percepção do valor pelo cliente é um indicador melhor do que a satisfação. Existe boa correlação entre a percepção de valor pelo cliente e a participação de mercado. Segundo a empresa norte-americana AT&T, as percepções de valor pelo cliente são o melhor indicador da participação no mercado.

Relação da Lucratividade com a Fidelidade

A lucratividade é um elemento fundamental para as organizações que atuam no setor privado. Existe uma reação em cadeia entre o desempenho, a satisfação do cliente, fidelidade e a lucratividade, denominada cadeia satisfação-lucratividade (Figura 2), conforme Andersen e Mittal (2000):

“Através da melhoria dos produtos e atributos dos serviços, a satisfação dos clientes deve aumentar. Com o aumento na satisfação do cliente é esperada a elevação na retenção dos clientes. Um aumento na retenção dos clientes conduz a um aumento da lucratividade”.

No entanto, essa relação nem sempre é linear. Por exemplo, a perda de um cliente pode ser mais prejudicial do que a retenção de um cliente (ANDERSEN e MITTAL, 2000). Na mesma linha, Andersen e Fornell (1999) afirmam que o índice de satisfação dos clientes é um dos indicadores do desempenho financeiro futuro da organização. A satisfação do cliente conduz a uma maior fidelidade. Através do aumento da fidelidade são assegurados os ganhos econômicos. O aumento na satisfação do cliente ocorre se forem identificados os fatores que influenciam na satisfação e ações forem tomadas no sentido de melhorar esses fatores.

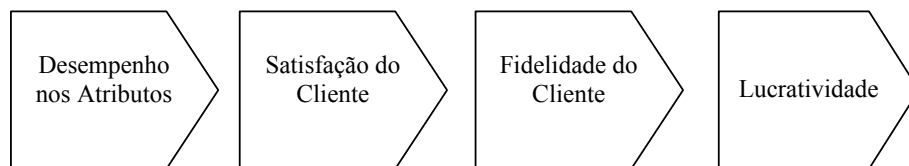


Figura 2: A cadeia satisfação-lucratividade

A ligação entre a satisfação do cliente e a lucratividade vem sendo refinada através da atenção para a variável fidelidade. Uma medida para a ligação da satisfação e a fidelidade foi estabelecida por Rust, Zahorik e Keiningham *apud* Allen *et al.* (2000). A fidelidade dos

clientes pode ser usada como um mecanismo de previsão do sucesso da organização, incluindo a participação de mercado, escala e custo unitário.

Naumann *et al.*(2001) relatam que a lealdade dos clientes muito satisfeitos (por exemplo, com 5 pontos em uma escala Likert) é o dobro dos clientes satisfeitos (4 pontos). Sugerem também haver uma relação entre alta lucratividade e clientes extremamente satisfeitos (*delights*). Como existe uma relação da satisfação dos clientes e a fidelidade, podem ser identificados os clientes que estão sob risco através da medição da satisfação. Segundo Naumann *et al.* (2001), a taxa de desistência dos clientes insatisfeitos é muito maior. Nessa situação, ações podem ser tomadas preventivamente no sentido de manter os clientes. Estudos revelaram que custa 5 vezes menos manter um cliente do que conquistar um novo (ALLEN e RAO, 2000).

2.2.5 Medição da satisfação do cliente

Existem diversas alternativas para a avaliação da satisfação dos clientes. Allen e Wilburn (2002) sugerem que as escalas numéricas do tipo Likert são as preferidas. Sobre as escalas do tipo Likert, Zikmund (1994) explica que nessas escalas o respondente indica a sua atitude, verificando o grau de concordância ou discordância em relação a afirmações cuidadosamente construídas, que variam do muito positivo para o muito negativo. As escalas mais sensíveis, com 7 ou mais pontos, são desejáveis para as organizações com melhor desempenho. Outra razão para a escolha de escalas com 7 e 10 pontos: é mais fácil quantificar a covariância entre duas variáveis. A covariância é uma medida da associação linear entre duas variáveis. Por exemplo, se duas variáveis são independentes, a covariância é zero (MONTGOMERY, 2001).

2.2.6 A satisfação do cliente e o Seis Sigma

Segundo Allen e Wilburn (2002), um dos pontos-chave do Seis Sigma é a obtenção de lucratividade devido à melhoria dos processos. Existe um duplo efeito na lucratividade devido à implantação plena do Seis Sigma. O primeiro efeito é indireto e vem da melhoria dos processos, que resultam em clientes mais satisfeitos, clientes mais satisfeitos aumentam a retenção dos clientes, que por sua vez influenciam na participação de mercado e trazem como consequência maiores lucros. A ligação da satisfação dos clientes com a retenção e aumento das fatias de mercado foi relatada por Rust e Zahorik *apud* Allen e Wilburn (2002), comprovando que os clientes fiéis são os que propiciam os maiores resultados econômicos. Também o índice ACSI confirma que existe uma forte relação entre a satisfação dos clientes e a lucratividade. No entanto, Fuller (2000) reconhece a dificuldade de relacionar os ganhos devido ao aumento da satisfação de clientes e de fatias de mercado com a lucratividade. O outro efeito é direto, ou seja, a melhoria dos processos traz resultados financeiros devido à redução de quebras e retrabalhos. Fuller (2000) classifica os benefícios devidos ao aumento da satisfação do cliente, incremento das fatias de mercado e redução de reclamações como *soft dollars*. Os benefícios devido à redução de custos e menos retrabalhos são denominados de *hard dollar*.

Um direcionador da satisfação dos clientes, ou seja, um antecedente da satisfação é o desempenho do produto e do processo. Essa relação é comprovada por Andersen e Mittal (2000). Outro direcionador da satisfação é o valor. O valor também é afetado pelo desempenho dos produtos e processos (Figura 1). Como o Seis Sigma atua fortemente na melhoria dos processos e produtos, ou seja, nos antecedentes da satisfação, consequentemente, afeta positivamente a satisfação do cliente. Como consequência da satisfação do cliente ocorre uma maior fidelidade ou lealdade do cliente. É conhecido o fato

de que os clientes satisfeitos são os que proporcionam os maiores lucros. Essa relação em cadeia pode ser resumida da seguinte forma: melhoria do desempenho, aumento do valor, maior satisfação dos clientes, aumento da fidelidade e trazendo como consequência maiores lucros. Dessa forma, é demonstrada a ligação do Seis Sigma com a satisfação do cliente.

2.3 SEIS SIGMA

Diversas organizações estão obtendo resultados expressivos, principalmente financeiros, decorrentes da aplicação do Seis Sigma. Esses resultados influenciaram inclusive o mercado financeiro e o tema passou a fazer parte da agenda da alta gerência. Muitas empresas estão utilizando o Seis Sigma como uma estratégia de negócio, procurando alinhar as atividades e as ferramentas estatísticas e não-estatísticas através de um processo lógico. Embora o Seis Sigma busque resultados radicais, isso não é economicamente viável para todos os processos (BREYFOGLE III *et al.* 2001), (WATSON, 2001).

2.3.1 A origem

O Seis Sigma surgiu na Motorola, um fabricante tradicional de componentes, equipamentos e sistemas. O Seis Sigma foi uma resposta à forte concorrência japonesa. Os produtos japoneses apresentavam alta qualidade associada aos baixos custos. A Motorola verificou através de contatos com os clientes que uma melhoria da qualidade com a redução dos problemas de campo e garantia poderia aumentar de forma expressiva os pedidos (PEREZ-WILSON, 1998).

O Seis Sigma começou em 1986/87 e foi definido como um tema geral da corporação, que estabeleceu o Seis Sigma como nível de qualidade a ser atingido. Alcançar o nível de qualidade Seis Sigma significava, na prática, atingir o zero defeito (PEREZ-WILSON, 1998). Antes do Seis Sigma, a Motorola já possuía experiência com a utilização de métodos estatísticos e estabeleceu um processo estruturado para alcançar o nível de qualidade Seis Sigma. Detalhes desse processo são apresentados por Breyfogle III (1999). Uma das lições que a Motorola obteve com a aplicação do Seis Sigma é que a “perfeição” é atingível, conduzindo a empresa a um estágio de perfeição através da melhoria contínua e inovação (JURAN, 1999). O Seis Sigma, na sua origem, estava relacionado a uma medida de qualidade e uma abordagem para solução de problemas de qualidade. Na seqüência, evoluiu para uma metodologia de melhoria geral do negócio. (BARNEY, 2002).

2.3.2 A fase pós Motorola - a repercussão do Seis Sigma

Na fase da Motorola, o Seis Sigma estava mais voltado a um processo de melhoria contínua radical (*breakthrough*), no sentido de redução de defeitos. Decorrente desse sucesso inicial, outras empresas se interessaram pelo processo. Harry *et al.* (2000) relatam a implantação do Seis Sigma na Asea Brown Boveri (ABB), na unidade de negócios de transformadores, onde houve uma mudança de foco do Seis Sigma, da redução de defeitos para melhoria do resultado financeiro da empresa, através de melhoria dos produtos, desempenho, produtividade e custos. Como resultado dessa iniciativa, a ABB conseguiu uma redução de 68% nos níveis de defeitos e 30% nos custos dos produtos, alcançando uma economia de US\$ 898 milhões de dólares em um período de dois anos.

Os excelentes resultados do Seis Sigma na Motorola e na ABB chamaram a atenção de outras organizações, tais como, a General Electric e a Allied Signal. O Seis Sigma ganhou

uma repercussão notável, quando foi adotado pela General Electric (GE) em 1995. A GE lutou mais de mais de cem anos para passar dos 10% de resultado operacional. Com o Seis Sigma, a margem operacional (*ongoing operating margin*) da GE passou rapidamente dos 10%, atingindo a marca de 19% em 2000 (WELCH *et al.* 2001). Na GE, o Seis Sigma evoluiu de uma abordagem de solução de problemas, para tornar-se uma estratégia do negócio. A GE percebeu que no início estava trabalhando na mudança da média, enquanto o que o cliente sente é o efeito da variação. Por muitos anos a GE trabalhou na redução de causas especiais de variação. No Seis Sigma, a GE atacou aquilo que Deming reconhecia como o trabalho da gerência, a redução das causas comuns de variação (WATSON, 2001).

A GE é considerada uma empresa modelo. Como a GE passou a utilizar o Seis Sigma com excelentes resultados, isso chamou a atenção do mercado. A partir daí, o Seis Sigma disseminou-se rapidamente.

2.3.3 Seis Sigma: Uma visão conceitual

O Seis Sigma pode ser definido sob a ótica das empresas, sendo utilizada uma amostragem das definições das organizações pioneiras. Na Motorola, que é o berço do Seis Sigma, houve dois momentos, de acordo com Barney (2002). No primeiro momento, o Seis Sigma significava “a contagem de defeitos nos produtos e a gestão da variação e a melhoria sistemática de todos os processos”. No segundo momento, o Seis Sigma se transformou em um “sistema geral de alto desempenho que executa a estratégia do negócio” ou uma “metodologia para melhoria geral do negócio”. Para a GE, segundo Treischler *et al.* (2002), o Seis Sigma significa “um processo altamente disciplinado que auxilia a focalização no desenvolvimento e expedição de produtos e serviços quase perfeitos”.

Algumas definições tratam o Seis Sigma sob a ótica de uma abordagem. Blakeslee (1999) define o Seis Sigma como: “uma abordagem para alto desempenho, direcionada através de dados para a análise das causas raízes de um problema visando a sua solução. O Seis Sigma liga as saídas do negócio diretamente aos requisitos do mercado.” Na mesma linha, Neuscheler-Fritsch *et al.* (2001) afirmam que o Seis Sigma “é uma abordagem disciplinada que auxilia a organização a consistentemente atender aos requisitos dos clientes e direcionar melhorias contínuas através de um gerenciamento focado em processos.” Na mesma direção, Snee (2000) apresenta o Seis Sigma como,

“uma abordagem de melhoria do negócio que procura eliminar as causas dos defeitos nos processos focalizando nas saídas que são de importância crítica para os clientes. Como resultado, o desempenho do processo é aumentado, a satisfação do cliente é melhorada, a lucratividade é afetada através de ganhos em custos e melhores rendimentos. O Seis Sigma é uma abordagem estratégica que trabalha em todos os processos, produtos, funções da empresa e indústrias”.

Existem as definições que se caracterizam pela abrangência, ou seja, acomodam uma série de elementos. Segundo Perez-Wilson (1998), “o Seis Sigma pode ser muitas coisas: uma estatística, uma medida, uma estratégia, um objetivo, uma visão, um *benchmark* e uma filosofia”. De modo muito semelhante, OKES *et al.* (2001) definem o Seis Sigma como: “Um termo estatístico? Uma metodologia? Uma estratégia de melhorias radicais? Uma filosofia? O Seis Sigma é tudo isso, assim como um assunto de controvérsia”.

2.3.4 As principais características do Seis Sigma

Com base em Okes *et al.* (2001:165), a seguir são apresentadas as principais características do Seis Sigma.

O comprometimento e forte liderança são essenciais no Seis Sigma. Isso é necessário, principalmente, para que o restante da organização perceba a importância do Seis Sigma.

As ações no Seis Sigma necessitam estar integradas com as outras estratégias e ações do negócio. O Seis Sigma precisa ser visto como uma iniciativa para a condução do negócio. O Seis Sigma não deve ser visto como mais um programa de qualidade.

A análise quantitativa e pensamento estatístico são conceitos-chave no Seis Sigma. O Seis Sigma é um gerenciamento baseado em dados. O pensamento estatístico consiste na capacidade da organização em utilizar os conceitos e ferramentas para melhorar seus processos. Os principais conceitos do pensamento estatístico incluem a melhoria geral do sistema subordinando a otimização das partes, visão de processo, uso de dados para a tomada de decisões e entendimento do conceito de variação para tomada de decisões (BRITZ *et al.*, 2000).

Um esforço constante deve ser aplicado no aprendizado do cliente. É necessário manter o foco no cliente. As ações da empresa devem ser direcionadas pelos clientes e mercado.

A abordagem do Seis Sigma necessita produzir resultados expressivos em um tempo razoável. Esses resultados incluem benefícios econômicos que devem ser validados. Na opinião da Motorola, os melhores resultados são obtidos através de corridas rápidas (*sprints*) ao invés de maratonas (BARNEY, 2002). A ênfase nos benefícios econômicos é um diferencial do Seis Sigma em relação aos demais programas da qualidade. É desejável que a validação seja realizada pela área financeira. O tempo de duração de um projeto Seis Sigma deve ser em torno de três meses, não ultrapassando os 6 meses. O escopo do projeto deve ser limitado para que possa ser executado nessa base de tempo. O escopo corresponde à abrangência ou tamanho do projeto.

O Seis Sigma necessita de pessoal especializado para a sua aplicação. Esse pessoal especializado é tipicamente denominado de Especialista Master (*Master Black Belt*), Especialista em Seis Sigma (*Black Belt*) e Membros das Equipes (*Green Belt*). Os termos são uma analogia aos especialistas em artes marciais, que possuem uma série de habilidades.

É necessário um sistema formalizado (baseado em relatório) de monitoramento dos projetos para o acompanhamento dos projetos. Isso permite a visualização dos objetivos do projeto e a manutenção do seu rumo. Um mínimo de documentação é gerado no sentido de facilitar o gerenciamento dos projetos e também visando a gestão do conhecimento.

É necessária a existência de um sistema de reconhecimento em todos os níveis, para manutenção do comprometimento das pessoas. É desejável que ocorra freqüentemente uma celebração dos sucessos alcançados. Isso ajuda a manter a motivação do pessoal em um nível elevado. Por exemplo, Watson (2001) relata que a GE ligou a remuneração ao desempenho no Seis Sigma.

2.3.5 A Medida Seis Sigma

O Seis Sigma, desde a sua origem, está ligado a redução da variação. A variação é representada através do símbolo Sigma. Sigma é uma letra do alfabeto grego (σ) usada em estatística para simbolizar o desvio-padrão de uma população. Sob o ponto de vista prático, o desvio-padrão é uma estatística que avalia a quantidade de variabilidade existente naquilo que está sendo avaliado (PEREZ-WILSON, 1998).

A Figura 3 apresenta alguns aspectos da distribuição normal relacionados com o Seis Sigma. Para um processo com três sigmas (3σ) entre a média e cada um dos limites de especificação (superior ou inferior), a curva normal teórica prevê, para cada cauda da

distribuição, um índice de partes por milhão (PPM) não-conformes ou com não-conformidades de 1350 PPM. Considerando as duas caudas, o valor é duplicado, representando 2700 PPM. Para um processo com seis sigmas (6σ) entre a média e cada um dos limites de especificação, tem-se para cada cauda 0,01 PPM.

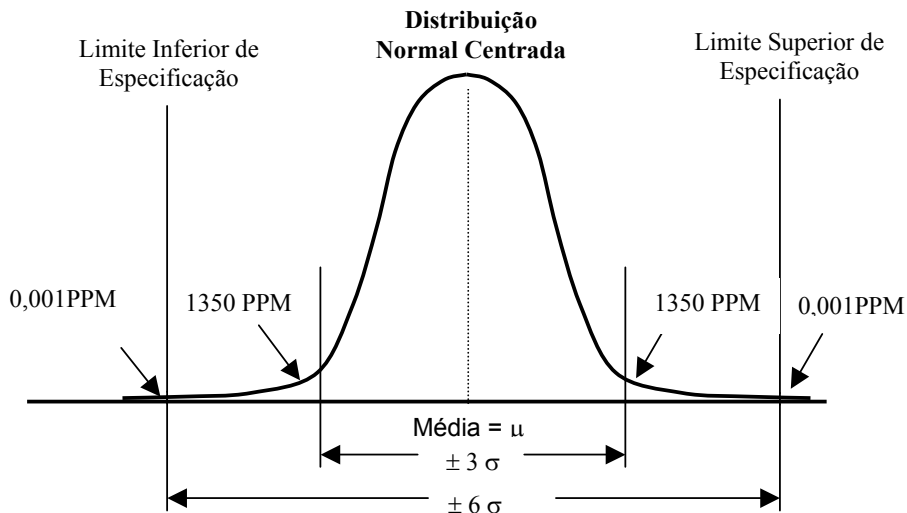


Figura 3: Distribuição normal e sua relação com três e seis sigmas

A Tabela 1 apresenta a quantidade de partes por milhão (PPM) que sairá de especificação, para vários desvios-padrões, considerando que o processo esteja centralizado.

Tabela 1: Partes por milhão (PPM) fora de especificação para vários desvios-padrões

Limite Especificação	Percentual dentro da especificação	PPM
± 1 sigma	68,27	317300
± 2 sigma	95,45	45500
± 3 sigma	99,73	2700
± 4 sigma	99,9937	63
± 5 sigma	99,999943	0,57
± 6 sigma	99,9999998	0,002

Difícilmente o processo estará exatamente centralizado. É esperado que o processo apresente um desvio (*shift*) em relação ao valor nominal. A Motorola adotou mais ou menos

1,5 sigmas como o valor para esse desvio (Figura 4). Por isso, um processo operando com Seis Sigmas possui 3,4 PPM. A maior parte das empresas adota o critério da Motorola, no entanto, Perez-Wilson (1998) defende que o PPM para o Seis Sigma é igual a 0,002 PPM. Também poderia ser considerado que existe diferença entre os processos, sendo que alguns podem apresentar um desvio que se aproxime de 1,5 sigmas e outros não. É consenso que todo processo apresenta desvios ao longo do tempo. No entanto, o questionamento é se os processos possuem realmente variações na média da ordem de 1,5 sigmas.

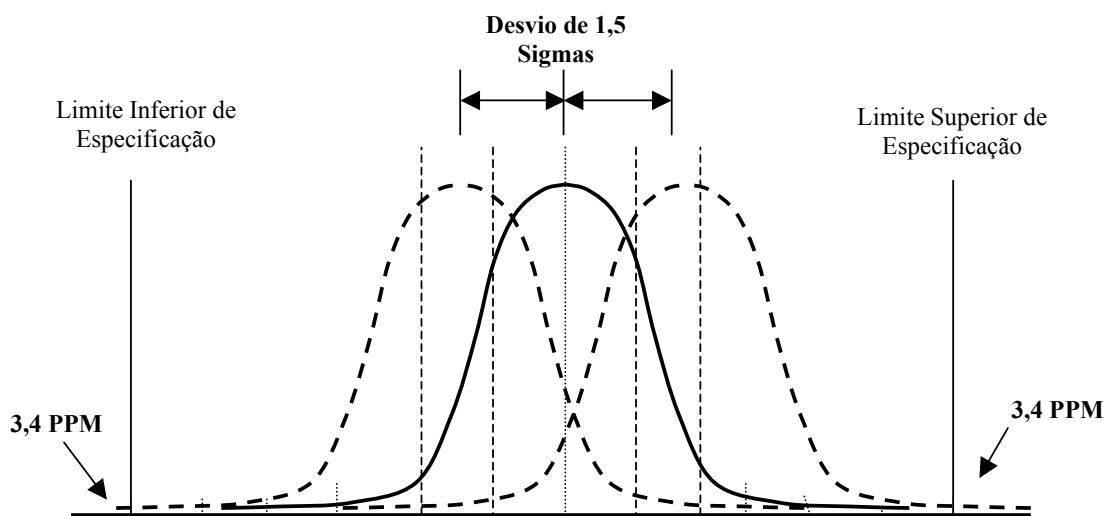


Figura 4: Distribuição normal e efeito do desvio da média (*shift*) no PPM

2.3.6 Medidas usadas no Seis Sigma

Breyfogle III *et al.* (2001) recomendam que cada projeto ou processo seja avaliado através de um medidor ou indicador, que abranja o projeto ou o processo como um todo. Eles comparam essa situação à obtenção de uma visão panorâmica. Somente depois da obtenção dessa visualização do todo, deve-se avaliar as partes. A variável responsável pela avaliação do projeto como um todo, é denominada de variável-chave de saída (*key output variable* - KOV).

Harry *et al.* (2000) denominam essas variáveis de saída de “Y” (variável dependente) ou característica crítica para a qualidade (*critical to quality characteristic- CTQ*). As CTQ's podem ser subdivididas em características-chave de entrada e características-chave de saída. Para a medição dos processos, é necessária a definição dos pontos de medição. Quanto mais cedo (mais a montante no processo) for realizada a medição, melhor. No mínimo, deve-se ter um ponto de medição. As variáveis importantes que influenciam as variáveis-chave de saída são denominadas de variáveis-chave de entrada (*key input variable - KIV's* ou X's). A Figura 5 apresenta a relação das variáveis-chave de entrada e as variáveis-chave de saída.

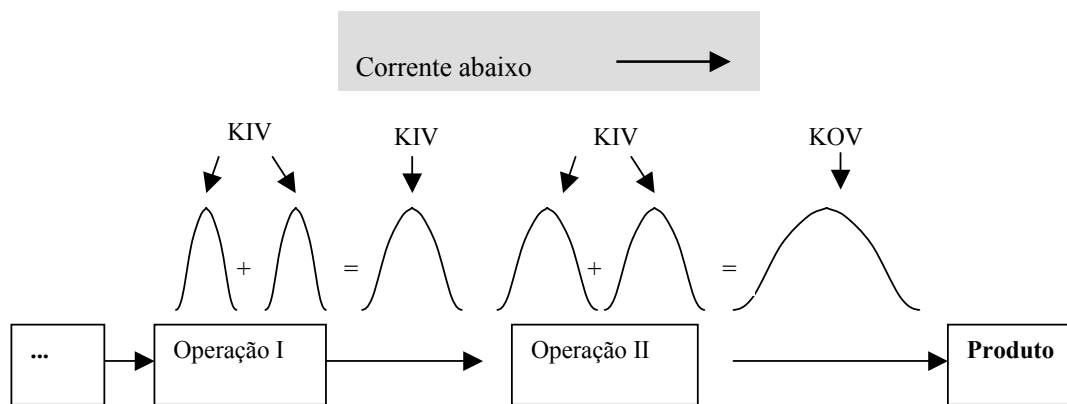


Figura 5: Relação entre as variáveis de entrada e de saída

O foco principal do Seis Sigma consiste na obtenção de resultados expressivos, alinhados com as estratégias e objetivos da organização, através, por exemplo, de redução de custos, melhorias nos processos e diminuição de tempo de ciclo. As organizações tentam estimar, sempre que possível, o impacto financeiro de cada atividade. Como forma de estimar o desempenho das atividades desenvolvidas, as organizações estão estabelecendo medidores de desempenho claros, tais como, partes por milhão (PPM), índices de capacidade de processo, rendimento da primeira passada, custos da qualidade e outras. A seguir são apresentados os principais medidores.

O indicador denominado de parte por milhão (PPM) avalia a quantidade de partes com defeito, defeituosas ou itens não-conformes encontradas para cada um milhão de itens produzidos ou fornecidos. O PPM é calculado através da seguinte expressão:

$$\text{PPM} = \frac{\text{Número de itens com defeito}}{\text{Número de itens/partes}} \times 1,0 \text{ Milhão} \quad (\text{Eq. 1})$$

A Tabela 2 apresenta uma comparação entre C_p (índice de capacidade do processo não considerando a centralização), C_{pk} (índice de capacidade que considera a centralização do processo) e PPM considerando o desvio de 1,5 sigmas e sem desvio (BREYFOGLE III *et. al.*, 2001).

Tabela 2: Comparação do PPM (com e sem desvio) com os índices C_p e C_{pk}

Quantidade de Sigmas ($\pm x\sigma$)	C_p	C_{pk}	PPM	
			Com desvio (<i>shift</i>)	Sem desvio (<i>shift</i>)
$\pm 1\sigma$ Um sigma	0,33	0,33	697700	317300
$\pm 2\sigma$ Dois sigma	0,67	0,67	308700	45500
$\pm 3\sigma$ Três sigma	1,0	1,0	66810	2700
$\pm 4\sigma$ Quatro sigma	1,33	1,33	6210	63
$\pm 5\sigma$ Cinco sigma	1,67	1,67	233	0,57
$\pm 6\sigma$ Seis sigma	2,00	2,00	3,4	0,002

A Motorola introduziu uma forma de ajustar as medidas em função da complexidade do que está sendo avaliado, ou seja, o número de oportunidades de defeitos por milhão de oportunidades (*defect per million opportunities* - DPMO). Essa abordagem permite que sejam comparados os desempenhos de diferentes produtos. Essa complexidade do produto, para efeito de medição, é convertida em oportunidades de defeitos. Deve-se tomar o cuidado no estabelecimento das oportunidades de defeitos, pois esse número pode ficar “inflacionado” e ficar sem sentido (PEREZ-WILSON, 1998).

$$\text{DPMO} = \frac{\text{número de defeitos}}{\text{número de unidades} \times \text{número de oportunidades de defeitos}} \times 1,0 \text{ Milhão} \quad (\text{Eq. 2})$$

O rendimento da primeira passagem (*rolled throughput yield* - RTY) considera as ineficiências do processo decorrentes de quebras e retrabalho. Dessa forma, apresenta a parte escondida da fabricação, que não aparece quando se calcula o rendimento convencional do processo. O rendimento convencional é calculado através da relação entre as unidades conformes que atingiram o final do processo e unidades que ingressaram no processo (BREYFOGLE III *et. al.*, 2001).

O índice de capacidade C_p mede a capacidade do processo não considerando a sua centralização. O cálculo do índice C_p é realizado através da seguinte fórmula:

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\hat{\sigma}} \quad (\text{Eq. 3})$$

onde, LSE é o limite superior de especificação, LIE representa o limite inferior de especificação e $6\hat{\sigma}$ corresponde ao intervalo de confiança que inclui 99,73% dos itens.

O índice de capacidade C_{pk} avalia a condição do processo considerando a sua centralização. O cálculo do índice C_{pk} é realizado através da seguinte fórmula:

$$C_{pk} = \left(\text{menor entre } \frac{LSE - \bar{X}}{3\hat{\sigma}} \text{ e } \frac{\bar{X} - LIE}{3\hat{\sigma}} \right) \quad (\text{Eq. 4})$$

onde, \bar{X} é a média do processo.

O Seis Sigma está associado com ganhos financeiros. Uma das medidas mais empregadas para a avaliação financeira são os custos da qualidade. Segundo Campanella (1990:9), "... os custos da qualidade são os custos especificamente associados com o atendimento ou não da qualidade dos produtos ou serviços". Os custos da qualidade podem ser classificados em custos de prevenção, avaliação, falhas internas e externas. Nos custos da qualidade existe uma parte visível, tal como, o custo das falhas internas e externas. Mas também está presente uma parte não visível, que corresponde pela maior dos custos da

qualidade, tal como, o custo do retrabalho devido à necessidade de reinspecionar um determinado item.

2.3.7 Seleção dos projetos Seis Sigma

Juran (1990:37) afirma que as melhorias são obtidas através de projetos. O mesmo autor define projeto como “...um problema programado para ser resolvido: uma missão específica a ser executada”.

A correta seleção dos projetos Seis Sigma é uma atividade fundamental para o sucesso do Seis Sigma. Os projetos devem trazer os maiores benefícios para os clientes e para a lucratividade da organização. Diversos problemas podem ocorrer se os projetos não forem adequadamente selecionados. Um dos principais problemas é a falta da motivação de equipe que está trabalhando no projeto. Essa falta de motivação pode ocorrer devido à equipe estar trabalhando, por exemplo, em um projeto cujo ganho seja mínimo, ou um projeto de solução praticamente impossível.

As organizações precisam desenvolver um processo para a seleção dos projetos. Breyfogle III *et al.* (2001) sugerem um processo que inicie com a determinação das necessidades importantes para os clientes e estratégicas do negócio e os potenciais projetos Seis Sigma. A identificação das necessidades dos clientes pode ser realizada e desdobrada através do Desdobramento da Função Qualidade (*Quality Function Deployment - QFD*). Outros métodos podem ser empregados, tais como, pesquisas de satisfação de clientes, pesquisas de mercado e o próprio conhecimento que a organização já possui dos clientes. As necessidades estratégicas do negócio podem ser obtidas através de um processo formalizado de gestão da estratégia, incluindo o processo de elaboração das estratégias e seus

desdobramentos. Não existe um padrão de processo para gestão das estratégias. Mintzberg *et al.* (2000) apresentam dez escolas relacionadas à estratégia e recomendam que cada organização utilize uma combinação dos elementos das escolas que melhor se adaptem a sua organização. Os objetivos estratégicos, obtidos a partir da aplicação do *Balanced Scored Card* (BSC), são uma opção de método para gestão da estratégia que pode ser utilizado dentro do Seis Sigma. Em função das necessidades importantes para os clientes e estratégicas do negócio, são identificados pela alta gerência os “candidatos” a projetos Seis Sigma.

Na seqüência, ocorre a seleção dos projetos Seis Sigma. O método recomendado é através de uma matriz de priorização. A matriz de priorização lista os principais projetos e para cada um desses projetos são aplicados critérios e pesos para identificar os projetos prioritários. Exemplos de critérios ou filtros podem incluir retorno financeiro do projeto, atendimento aos objetivos estratégicos, atendimento às necessidades dos clientes, facilidade de implantação, atendimentos as limitações de recursos e outros (BREYFOGLE *et al.* 2001).

2.3.8 As principais funções envolvidas no Seis Sigma

O Seis Sigma é muito conhecido devido aos especialistas na metodologia Seis Sigma, denominados de *Black Belt*. O termo é uma analogia ao termo faixa-preta (especialista em artes marciais). No entanto, existem outros papéis na metodologia. Os principais papéis são denominados de Conselho ou Comitê de Liderança, Patrocinadores (*Champions*), Especialista Master (*Master Black Belt*), Especialista em Seis Sigma (*Black Belt*) e os Participantes das Equipes (*Green Belts*). A seguir, é apresentada uma descrição das funções baseada em Pande *et al.* (2001).

Os membros do conselho de liderança normalmente são as mesmas pessoas que integram os conhecidos Comitês ou Conselho da Qualidade, ou seja, o grupo multifuncional

que inclui a participação da alta gerência. As principais atribuições desse grupo incluem: (i) o estabelecimento das funções nos programas, (ii) definição e fornecimento de infra-estrutura / recursos, (iii) seleção de projetos específicos, (iv) revisão regular do andamento dos projetos, (v) atuação como patrocinadores nos projetos e (vi) remoção de obstáculos ao trabalho dos grupos. A estrutura típica do Seis Sigma pode ser visualizada na Figura 6, onde a linha cheia representa uma ligação de autoridade, enquanto a linha tracejada significa uma relação sem subordinação.

O *Champion* é normalmente um membro da gerência com experiência e autoridade para acompanhar o projeto de melhoria. A supervisão sobre o grupo deve ser exercida de modo equilibrado, de modo a atuar como um fornecedor de orientações sem, no entanto, retirar a liberdade do grupo. Os *Champions* exercem papel fundamental na obtenção de resultados eficazes no Seis Sigma. Eles estabelecem o escopo do trabalho controlando o tamanho e a viabilidade dos projetos. A atuação do *Champion* é fundamental para a obtenção de resultados financeiros. As principais responsabilidades do *Champion* incluem: (i) participar na seleção dos projetos, (ii) selecionar os membros das equipes de projetos, (iii) apresentar o projeto à equipe Seis Sigma, (iv) revisar a carta de projeto e documentação elaborada pela equipe, (v) acompanhar regularmente o andamento dos projetos, (vi) dar apoio à equipe, (vii) reconhecer o sucesso e (viii) assegurar a passagem do projeto Seis Sigma para os proprietários do processo.

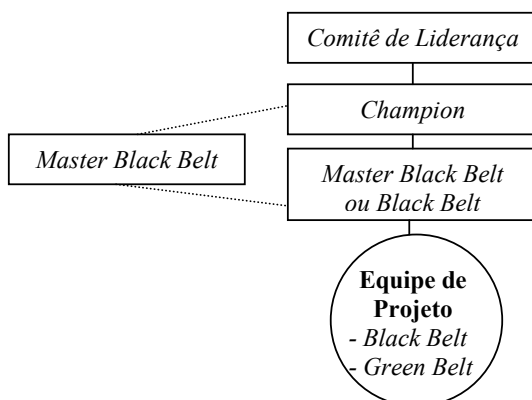


Figura 6: Estrutura típica do Programa Seis Sigma

O *Master Black Belt* é o coordenador da implantação do Seis Sigma. Essa atividade pode ser desempenhada por um membro da alta gerência em tempo integral ou como parte de suas funções. Os encargos usuais desta função incluem o apoio ao Conselho ou Comitê de Liderança em seus trabalhos, com foco na: (i) seleção e análise de projetos, (ii) identificação e recomendação de pessoas para preenchimento das funções mais importantes, (iii) identificação de necessidades de treinamentos externos, (iv) preparação e execução de planos de treinamento, (v) auxílio aos patrocinadores no desempenho de suas atribuições, (vi) registro do progresso geral do programa e (viii) realização do *marketing* interno da atividade.

O *Black Belt* é a pessoa que fornece assistência especializada em assuntos que incluem ferramentas estatísticas e não-estatísticas, gestão de mudanças e estratégias de projeto de processos. O *Black Belt* pode estar integrado à equipe ou não. Caso ele não esteja integrado a equipe, ele realiza basicamente a função de *coaching* junto às equipes Seis Sigma. *Coaching* pode ser traduzido como treinador, mas o termo é usualmente empregado para definir a atividade de fazer junto com a pessoa que está sendo auxiliada. Também pode ser interpretado como um consultor interno. Quando o *Black Belt* estiver integrado à equipe Seis Sigma, ele é o principal responsável pelo projeto específico que está sendo desenvolvido. A sua atividade é fundamental para a manutenção e continuidade do projeto específico. As principais responsabilidades incluem: (i) a revisão e esclarecimento dos motivos da realização do projeto com o *Champion*, (ii) desenvolvimento e atualização da carta do projeto e plano de implantação, (iii) seleção ou auxílio na seleção dos membros da equipe, (iv) identificação e busca de recursos, (v) apoio aos demais membros da equipe no emprego das ferramentas adequadas e (vi) documentação dos resultados.

Os *Green Belts* constituem os demais membros da equipe. A função dos *Green Belts* é a de participar ativamente nos projetos utilizando as ferramentas de acordo com o cronograma elaborado.

A Tabela 3, baseada em Harry *et al.* (2000), apresenta a comparação dos papéis no Seis Sigma, assim como uma apresentação sucinta das necessidades de treinamento.

Tabela 3: Comparação entre os papéis

	<i>Champion</i>	<i>Master Black Belt</i>	<i>Black Belt</i>	<i>Green Belt</i>
Qualificações	Executivos seniores e gerentes, tais como, um diretor ou gerente de fabricação ou marketing. Familiaridade com ferramentas estatísticas básicas e avançadas.	Recomendável formação técnica. Um <i>Master Black Belt</i> poderia ser, por exemplo, um gerente ou eng ^o . chefe. Domínio de ferramentas estatísticas básicas e avançadas.	Recomendável formação ou orientação técnica. Um <i>Black Belt</i> poderia ser um eng ^o . ou profissional com 5 ou mais anos de experiência. Domínio das ferramentas estatísticas básicas.	Base e suporte técnico. Sua posição atual é associada com o problema que está sendo resolvido. Familiaridade com as ferramentas estatísticas básicas.
Treinamento	Três a cinco dias de treinamento específico.	Em torno de 200 horas de treinamento e desenvolvimento de projetos.	Em torno de 160 horas de treinamento e desenvolvimento de projetos.	Em torno de 80 horas de treinamento e desenvolvimento de projetos.
Número de Pessoas Treinadas	Um <i>Champion</i> por unidade de negócio.	Um <i>Master Black Belt</i> para cada 20-30 <i>Black Belts</i>	Um <i>Black Belt</i> para cada 50-100 pessoas	Um <i>Green Belt</i> para cada 10-20 pessoas

2.3.9 As fases do DMAIC e a integração das ferramentas

O Seis Sigma está fortemente baseado em métodos estatísticos. No entanto, a maior parte dos métodos estatísticos, tais como, controle estatístico de processo (CEP) e projetos de experimentos (*design of experiments* – DOE) existe há décadas. Então, por que o Sigma é considerado algo novo? O que existe é uma nova integração das ferramentas em um processo

denominado de DMAIC. Essa integração caracteriza uma abordagem que torna o Seis Sigma único (SANDERS e HILD, 2000). A sigla DMAIC corresponde as iniciais de: D- *define* (definição), M – *measure* (medição), A- *analysis* (análise), I – *Improve* (melhoria) e C – *control* (controle). Apesar do DMAIC ser a abordagem mais empregada, também existe a integração das ferramentas utilizando como base o ciclo PDCA (AGUIAR, 2002). A sigla PDCA origina-se das iniciais das palavras P- *plan* (planejar), D – *do* (fazer), C – *control* (controlar) e A – *action* (agir). Na literatura são apresentadas diversas ferramentas em cada uma das fases, mas não há uma perfeita definição das ferramentas e da sua ordem de aplicação. Em função dessa situação, será apresentada no capítulo 3 qual a adaptação realizada no Seis Sigma para atender as necessidades da organização em questão.

Existe uma variedade expressiva de ferramentas que podem ser usadas no Seis Sigma. No entanto, existe um núcleo de 8 ferramentas consideradas fundamentais no Seis Sigma, conforme relatado por Zinkgraf e Snee *apud* Breyfogle III *et al.* (2001): (i) mapeamento de processos, (ii) matriz de causa-e-efeito, (iii) análise do sistema de medição, (iv) estudos de capacidade de processos, (v) análise de modo e efeitos de falhas potenciais (FMEA), (vi) estudos multivariados, (vii) projetos de experimentos (DOE) e (viii) plano de controle.

Fase de Definição

Na fase de definição é determinado o que é importante para o cliente e são estabelecidos os fundamentos dos projetos Seis Sigma (BREYFOGLE III *et al.*, 2001). O mesmo autor inclui junto com a fase de definição uma fase denominada de desdobramento e propõe as seguintes atividades e/ou ferramentas: (i) condução de treinamento executivo, condução de treinamento para os *Champions*, (ii) seleção dos candidatos a *Black Belt*, (iii)

definição de projetos, (iv) identificação dos requisitos críticos do cliente, (v) identificação das variáveis-chave de saída que serão usadas como métricas do projeto (vi) criação de uma infraestrutura para trabalhar o projeto, (vii) descrição do impacto do projeto no negócio, considerando medições financeiras e (viii) planejamento do projeto como um todo, criando uma carta de projeto e cronograma. É recomendável que a avaliação do impacto econômico dos projetos seja realizada por pessoas da área financeira.

Pande *et al.* (2001) defendem que na fase de definição devem ser definidos o problema (projeto) ou oportunidade a ser trabalhada, a meta, o cliente a ser atendido e qual o processo a ser investigado. As metas e os parâmetros do projeto devem ser definidos em um documento denominado de carta de projeto. A carta de projeto é um documento que apresenta o projeto e, tipicamente, pode incluir: (i) descrição do projeto, (ii) objetivos, (iii) dados da equipe, (iv) principais medidores (indicadores), (v) datas-chave e (vi) aprovações dos responsáveis. Werkema (2002) sugere nessa fase a utilização de um mapa de raciocínio. Hild *et al.* (1999) definem o mapa de raciocínio como:

“um documento que apresenta de forma progressiva o conhecimento existente, perguntas realizadas, passos paralelos do trabalho para responder as perguntas, ferramentas aplicadas para responder as perguntas, conhecimento obtido através do trabalho executado e as atividades a serem realizadas no futuro”.

O mapa de raciocínio auxilia a equipe de projeto na identificação das atividades a serem executadas no futuro, permite a visualização do andamento do projeto e serve como um documento que formaliza a solução obtida.

A Figura 7 apresenta as principais atividades e ferramentas da fase de definição.

Fase	Objetivo	Principais atividades do DMAIC	Principais Ferramentas
Definição	Definição de oportunidades e avaliação financeira	<ul style="list-style-type: none"> • Definir os requisitos do cliente • Identificar variáveis de saída para medição do projeto. • Criar uma infra-estrutura • Avaliar o impacto do projeto • Planejar o projeto como um todo 	<ul style="list-style-type: none"> • Pesquisa de mercado • QFD • Matriz de causa-e-efeito • Carta de projeto • Cronograma do projeto • Mapa de raciocínio • Custos da qualidade • Gráficos de Pareto • Indicadores/Gráficos
Obs.: Não existe uma perfeita correspondência entre as atividades e as ferramentas apresentadas.			

Figura 7: Principais atividades e ferramentas da fase de definição

Fase de Medição

Os objetivos da fase de medição são a medição dos processos e conversão dos resultados em informações que indiquem soluções. Breyfogle III *et al.* (2001:103) colocam como estratégia para essa fase o entendimento do processo. A medição envolve mais do que a atribuição de um número a um produto ou a um processo. A fase de medição tipicamente inclui a identificação das variáveis-chave de saída (*key output variable* -KOV's ou Y's) e sua quantificação e sua relação com as variáveis-chave de entrada (*key input variable* - KIV's ou X's) (PEARSON, 2001). Com referência a relação das variáveis de entrada em relação as variáveis de saída propostas por Pearson (2001), é mais lógico realizar essa avaliação na fase de análise. Slater (1991) e Sanders *et al.* (1999) apresentam método para mapeamento do processo e identificação das variáveis-chave de saída e as variáveis de entrada. Esse método é baseado no diagrama de causa-e-efeito de Ishikawa (1983). Breyfogle III *et al.* (2001) propuseram nessa fase a realização das seguintes atividades e/ou ferramentas: (i) medição das variáveis de saída do projeto através de séries temporais usando cartas de controle, (ii) determinação da capacidade do processo de longo prazo, (iii) criação de gráfico de Pareto

para os principais defeitos, (iv) elaboração do fluxograma do processo, (v) criação do diagrama de causa-e-efeito para identificação das variáveis que afetam a saída do processo, (vi) criação da matriz de causa-e-efeito para avaliar a força da relação entre as variáveis de entrada e de saída. (vii) avaliação da análise do sistema de medição (MSA), (viii) elaboração de gráfico de Pareto das variáveis-chave de entrada, (ix) elaboração de FMEA (Análise de Modo e Efeitos de Falhas Potenciais) e (x) avaliação dos planos de controle.

Pande *et al.* (2001) recomendam o planejamento e medição do desempenho em relação as exigências dos clientes e o desenvolvimento de medidas básicas de defeitos e identificação de oportunidades de melhoria. O planejamento e medição do desempenho é segmentado em: (i) seleção do que medir, (ii) desenvolvimento de definições operacionais, (iii) identificação da fonte de dados, (iv) preparação de um plano de coleta e amostragem de dados e (v) implementação e refino da medição. Também Eckes (2001) recomenda a utilização do plano de medição. A medição das variáveis-chave de saída é facilitada através de um plano de medição. Esse plano pode incluir tipicamente: o que medir, tipo de dado, definição operacional, formulário para coleta de dados e tamanho da amostra. Especial atenção deve ser dada a definição operacional. Por exemplo, se estiver sendo medido o prazo de entrega de um produto, o que significa um produto entregue no prazo.

Werkema (2002) recomenda adicionalmente a utilização de estratificação do problema, *boxplot* e análise multivariada.

A Figura 8 apresenta um resumo da fase de medição com as principais atividades e ferramentas.

Fase	Objetivo	Principais atividades do DMAIC	Ferramentas
Medição	Medição de processos e conversão em informação que indique soluções.	<ul style="list-style-type: none"> • Avaliar as variáveis chave de entrada • Avaliar capacidade do processo • Mapear processo • Identificar as variáveis dominantes • Refinar os problemas/objetivos 	<ul style="list-style-type: none"> • Séries temporais • Cartas de controle • Capacidade do processo • Estatística descritiva • Fluxograma total do processo • Diagramas de causa-e-efeito • Matriz de causa-e-efeito • MSA (Análise do Sistema de Medição) • Análise de variância (ANOVA) • FMEA • Plano de Controle • <i>Boxplot</i>

Figura 8: Principais atividades e ferramentas da fase de medição

Fase de Análise

O objetivo principal dessa fase é a descoberta das causas dos problemas. Na linguagem Seis Sigma, isso significa a identificação das variáveis de entrada (KIV's ou X's) ou variáveis independentes que potencialmente afetam os KOV's ou Y's, assim como, a relação das variáveis de entrada com as de saída (DOES *et al.* 2002). Breyfogle III *et. al.* (2001) recomendam a utilização das seguintes atividades/ferramentas: (i) coleta de dados para avaliação da relação (caso exista) entre as variáveis de entrada e de saída, (ii) criação de cartas multivariadas e *boxplots*, (iii) condução de estudos de correlação, (iv) avaliação da significância estatística dos relacionamentos através de testes de hipóteses, (v) condução de estudos de regressão e análise de variância (ANOVA).

Werkema (2002) recomenda, adicionalmente, a utilização de *brainstorming*, análise de árvore de falhas (*failure tree analysis* - FTA), diagrama de afinidades, diagrama de relações e diagrama de matriz.

Rasis *et al.* (2002) propõem também a utilização de filtragem através de projetos de experimentos, mineração de dados (*data mining*) e a realização de estudos de R&R para cada variável de entrada. Com relação aos estudos de R&R, não parece ser adequado, em função da relação custo-benefício, realizá-los para todas as variáveis de entrada, mas somente para as variáveis que forem identificadas como críticas.

A Figura 9 apresenta um resumo da fase de análise com as principais atividades e ferramentas.

Fase	Objetivo	Principais atividades do DMAIC	Principais Ferramentas
Análise	Análise de dados e conversão em informação que indique soluções (determinação das causas).	<ul style="list-style-type: none"> • Avaliar a relação entre as variáveis-chave de entrada e de saída • Analisar tipo de variação predominante • Verificação da relação entre as variáveis duas a duas • Implementar as soluções • Verificar as soluções propostas 	<ul style="list-style-type: none"> • Matriz de causa-e-efeito • Cartas multivariadas • <i>Boxplots</i> • Análise de regressão e correlação • Cartas multivariadas • Intervalos de confiança para medidores-chave • Teste de hipóteses • ANOVA (Análise de variância) • Estatística descritiva • Comparações emparelhadas • DOE • <i>Data mining</i> • MSA

Figura 9: Principais atividades e ferramentas da fase de análise

Fase de Melhoria

O objetivo da fase de melhoria é o aperfeiçoamento dos processos usualmente através da remoção das causas dos defeitos. Segundo Breyfogle *et al.* (2001), a estratégia consiste em remover as causas dos defeitos. Isso é válido como uma afirmação genérica. No entanto, existem situações nas quais é possível a melhoria dos processos sem eliminar as causas dos defeitos ou das variações através da aplicação dos conceitos da engenharia robusta.

Os métodos de Taguchi são classificados como engenharia robusta. Breyfogle *et al.* (2001) recomendam: (i) a utilização de projetos de experimentos via projetos fatoriais com suas etapas e, quando aplicável, métodos de superfície resposta (*response surface methods*-RSM), (ii) determinação das “janelas de operação” das variáveis-chave de entrada via DOE, RSM e outras ferramentas.

Rasis *et al.* (2002) afirmam que na fase de melhoria é otimizada a relação entre as características críticas para a qualidade, variáveis críticas de entrada (X's) e fatores de ruído através da aplicação de projetos de experimentos. Os fatores de ruído são variáveis, que causam variação no processo, mas cujo controle é inviável por motivos técnicos ou econômicos.

Werkema (2002) não propõe diretamente a utilização de projetos de experimentos. Ela recomenda inicialmente a geração de idéias de soluções potenciais para a eliminação das causas através de *brainstorming*, diagrama de causa-e-efeito, diagrama de afinidades e diagrama de relações. Na seqüência, propõe a priorização das soluções potenciais através do diagrama de matriz e matriz de priorização. Também orienta no sentido da avaliação de riscos através de FMEA e outras ferramentas com foco nas ferramentas gerenciais. No entanto, o único tipo de experimentação planejada citada é a operação evolutiva (EVOP). Não enfatizar a experimentação planejada parece não ser a abordagem mais adequada.

A principal ferramenta da fase de melhoria é a experimentação planejada. Goh (2002) analisa o papel dos projetos de experimentos no Seis Sigma. É analisado o DOE Clássico, métodos de Taguchi e métodos de Shainin. O DOE Clássico possui uma ênfase na área estatística, sendo os projetos fatoriais a família de maior aplicação. A sua aplicação ficou facilitada com o acesso aos pacotes estatísticos. O DOE clássico é abordado principalmente por Montgomery (2001) e Box *et al.* (1978). Os métodos de Taguchi são também conhecidos como engenharia robusta e possuem como principal característica a simplicidade. Detalhes

dos métodos de Taguchi podem ser encontrados em Peace (1993), Ross (1991) e Taguchi (1986). Os métodos de Shainin também se caracterizam pela facilidade de uso das técnicas estatísticas através de uma abordagem intuitiva, mas estatisticamente saudável. Os métodos de Shainin são apresentados por Bothe (1992) e Bothe *et al.* (2000). Maiores detalhes da comparação entre os métodos de experimentação clássica com os de Taguchi, podem ser encontrados em Tay e Butler (1999).

As principais atividades e ferramentas da fase de melhoria são apresentadas na Figura 10.

Fase	Objetivo	Principais atividades do DMAIC	Principais Ferramentas
Melhoria	Aperfeiçoamento dos processos e obtenção de resultados (usualmente através da remoção das causas).	<ul style="list-style-type: none"> • Selecionar fatores e níveis • Executar experimento e analisar resultados • Determinar tolerâncias • Desenhar e implementar novo processo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Planejar e executar DOE (<i>Design of experiments</i>) • Superfície resposta (RSM) • EVOP (Operação evolutiva) • Dimensionamento de tolerâncias

Figura 10: Principais atividades e ferramentas da fase de melhoria

Fase de Controle

O objetivo da fase de controle é a manutenção dos ganhos obtidos. A fase de controle envolve o controle das variáveis de entrada que afetam as variáveis de saída. Breyfogle *et al.* (2001) recomendam a utilização das seguintes atividades e/ou ferramentas: (i) atualização do plano de controle, (ii) implementação de cartas de controle, (iii) pré-controle e (iv) dispositivos à prova de erro. As cartas de controle podem incluir as cartas de controle convencionais de Shewhart, cartas de controle para pequenos lotes, cartas de controle para somas cumulativas (*cumulative sum* - CUSUM) e outras.

Werkema (2002) propõe, inicialmente, a avaliação do alcance da meta através de uma série de ferramentas, tais como, análise do sistema de medição (MSA), carta de controle, histograma, índices de capacidade e métricas do Seis Sigma. Parece haver nessa abordagem uma inconsistência conceitual. O controle deveria ser realizado em algo que já foi melhorado e verificado. Na seqüência, a ênfase é dada à padronização das soluções e treinamento dos envolvidos.

Harry *et al.* (2000) utilizam um estágio adicional, denominado de institucionalização, que por sua vez está subdividido em padronização e integração. A institucionalização é a integração do Seis Sigma no dia-a-dia do negócio.

As principais atividades e ferramentas da fase de melhoria são apresentadas na Figura 11.

Fase	Objetivo	Principais atividades do DMAIC	Principais Ferramentas
Controle	Manutenção dos ganhos obtidos	<ul style="list-style-type: none"> • Estabelecer padrões de medição para manter o desempenho • Manter os ganhos obtidos através da padronização. • Treinamento dos envolvidos 	<ul style="list-style-type: none"> • Plano de controle • Cartas de controle para características especiais • <i>Poka yoke</i> • Pré-controle • Instruções de trabalho

Figura 11: Principais atividades e ferramentas da fase de controle

3. MODELO PARA A APLICAÇÃO DO SEIS SIGMA

O modelo para a aplicação do Seis Sigma, que será apresentado a seguir, foi desenvolvido, basicamente, a partir da revisão bibliográfica, mas conta também com alguns acréscimos reunidos a partir da experiência prática do autor. O modelo proposto para aplicação do Seis Sigma corresponde à segunda etapa do método de trabalho. O modelo é composto pelos seguintes elementos: (i) estrutura do Seis Sigma, (ii) programas (currículos) para o treinamento dos participantes no Seis Sigma e (iii) atividades e ferramentas para as fases do DMAIC. O modelo não foi desenvolvido em um único momento. Ele foi sendo elaborado e adaptado, em paralelo, a sua aplicação.

3.1 ESTRUTURA DO SEIS SIGMA

A estrutura planejada da organização para o Seis Sigma é composta por um Conselho da Qualidade, *Champions*, *Master Black Belt*, *Green Belts* e outros participantes (Figura 12) (BOER, 2003). As atividades definidas para cada um dos papéis seguiram o modelo tradicional apresentado no capítulo 2. O papel de cada elemento da estrutura, de um modo resumido, pode ser descrito da seguinte forma: (i) o Conselho da Qualidade fornece as

orientações gerais e revisa o Seis Sigma como um todo, (ii) os *Champions* atuam dando o apoio às equipes Seis Sigma, (iii) o *Master Black* realiza a coordenação geral do Seis Sigma, (iv) os *Black Belt* são os especialistas na metodologia, que conduzem os projetos liderando as equipes e apoiando os *Green Belts* e os (v) *Green Belts* e os demais participantes são os membros das equipes, que realizam atividades com enfoque operacional. Foi planejada uma relação aproximada de 1 *Black Belt* para cada 60 funcionários.

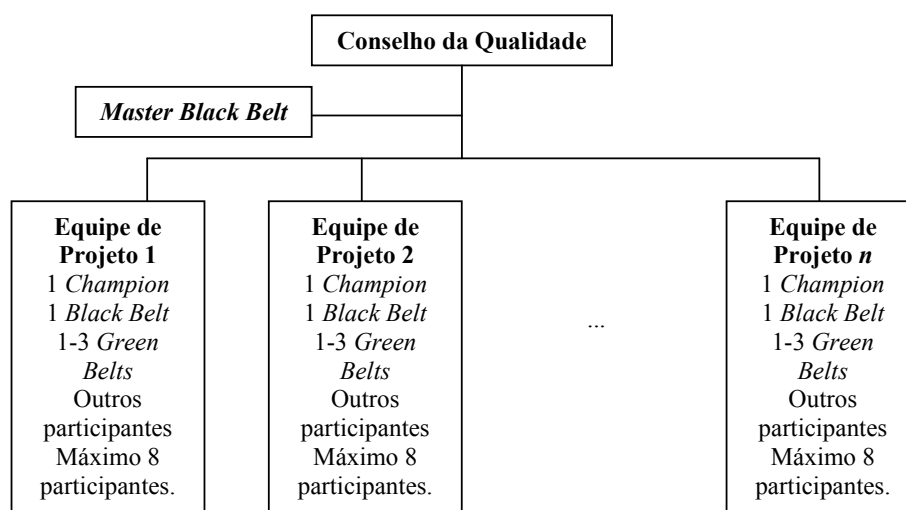


Figura 12: Estrutura planejada no Seis Sigma

3.1.1 Perfil dos *Black Belts*

Hahn (2001) descreve que existe uma tendência natural em selecionar as pessoas que estão disponíveis e não aquelas que apresentam o melhor desempenho. Hahn *et al.* (2000) recomendam a seleção dos melhores da classe (“*Top of class*”) como Especialistas no Seis Sigma. Segundo Hoerl (2001), o *Black Belt* deve possuir habilidade para aplicar as ferramentas estatísticas, liderar equipes, conduzir projetos e para relacionar-se com a gerência. Em resumo, o *Black Belt* deve ser um líder de equipe orientado para resultados com

habilidades técnicas e humanas. Lucas (2002) afirma que todos os candidatos deveriam possuir um histórico de realizações. Harry *et al.* (2000) citam uma série de características que um *Black Belt* deve possuir, onde podem ser destacados: (i) ser respeitado pelos superiores, colegas e subordinados, (ii) entendimento do negócio, (iii) comunicação na linguagem da gerência, (iv) comprometimento para a realização de atividades que busquem a excelência, (v) capacidade para orientação de outras pessoas, (vi) atitude crítica e criativa e (vii) persistência na busca de resultados. Segundo Breyfogle III *et al.* (2001:128), um *Black Belt* deve possuir uma série de qualidades para ser eficaz, incluindo habilidades de liderança, gerenciamento de projetos e técnicas. Werkema (2002:71) apresenta as seguintes características necessárias para um *Black Belt*:

“(i) iniciativa, (ii) entusiasmo, (iii) persistência, (iv) habilidade de relacionamento e comunicação, (v) motivação para alcançar resultados e efetuar mudanças, (vi) habilidade para trabalhar em equipe, (vii) aptidão para gerenciar projetos e (viii) raciocínio analítico quantitativo e capacidade de concentração”.

Como outra característica desejável para o *Black Belt*, essa autora recomenda “um elevado conhecimento técnico em sua área de trabalho”.

3.1.2 Dedicção de tempo dos *Black Belts*

Os *Black Belts* são os especialistas na metodologia Seis Sigma e lideram as equipes de projeto. Os *Black Belts* podem atuar em tempo integral ou em tempo parcial. Diversos autores, tais como, Blakeslee (1999), Hahn *et al.* (2000), Harry *et al.* (2000:174) e Fuller (2000) recomendam que os *Black Belts* atuem em tempo integral. Segundo Goldstein (2001), não existe uma resposta definitiva. A decisão depende da situação da organização. Caso a organização necessite de resultados imediatos, a tendência é a opção pela dedicação integral. Outra opção, é um misto de aplicação integral e parcial dos recursos. Por exemplo, Goldstein

(2001) relata uma aplicação onde 30% do pessoal administrativo foi dedicado integralmente para a aplicação dos projetos Seis Sigma. Essa experiência foi bem sucedida. Hahn (2001) recomenda que os *Black Belts*, pelo menos no início, sejam liberados de suas demais funções. Sandholm *et al.* (2002) afirmam que as empresas que estão obtendo bons resultados investem adequadamente seus recursos e envolvem muitas pessoas no Seis Sigma. Normalmente, o número de *Black Belts* utilizados em tempo integral representa de 1 a 3% do número total de funcionários.

O tempo recomendado na função de *Black Belt* é de dois anos. Breyfogle III (1999:5) afirma que um *Black Belt* típico pode realizar quatro projetos por ano e economizar 500 mil dólares anuais, enquanto Lucas (2002) relata que um *Black Belt* típico deveria realizar 8 a 12 projetos em dois anos, sendo que cada projeto deveria durar em torno de 3 meses.

A organização deste estudo optou, em um primeiro momento, pela dedicação parcial do tempo dos *Black Belts* e demais componentes da estrutura do Seis Sigma. Motivo para essa decisão: a organização não tinha experiência com pessoal aplicado 100% em uma abordagem por projetos.

3.2 PROGRAMA DOS TREINAMENTOS NO SEIS SIGMA

O Seis Sigma é considerado uma iniciativa que deve partir da alta gerência (processo *top down*). No sentido de propiciar as informações necessárias para a alta gerência, foi planejada uma palestra de 4 horas. Na alta gerência estavam presentes as primeiras pessoas, que iriam exercer a função de *Champions* no Seis Sigma. O conteúdo desse treinamento abrangeu: (i) visão geral sobre o Seis Sigma, (ii) vantagens do Seis Sigma, (iii) métricas do

Seis Sigma, (iv) estrutura da equipe no Seis Sigma, (v) seleção de projetos, (vi) as fases do DMAIC e a integração das ferramentas e (vii) padronização no Seis Sigma.

O treinamento das pessoas que iriam exercer a função de *Champions* foi planejado para ser realizado em 20 horas. O programa desse treinamento seguiu o padrão dos cursos usualmente ministrados para *Champions* (Tabela 4). Com o objetivo de facilitar a transmissão dos conceitos relacionados ao Seis Sigma e ferramentas, foi planejado o uso de métodos didáticos que facilitassem a visualização dos conceitos. Por exemplo, para a explicação do conceito de supercontrole de processos foi empregado o Funil de Nelson.

Tabela 4 : Programa de treinamento dos *Champions*

Fase	Assunto
Definição	<ul style="list-style-type: none"> • Revisão sobre Seis Sigma • Estrutura da Equipe Seis Sigma • Papel do <i>Champion</i> • Seleção de projetos • Padronização no Seis Sigma (carta de projeto, cronograma) • Mapa de raciocínio • Mapeamento de processo • Condução e revisão de projetos
Medição e Análise	<ul style="list-style-type: none"> • Mapeamento detalhado de processos e definição de variáveis-chave de saída • Plano para coleta de dados • Básico sobre análise do sistema de medição (MSA) • Medição do desempenho das variáveis-chave de saída • Estatística descritiva • Básico sobre controle estatístico de processo (conceito de variação, cartas de controle, capacidade de processos, supercontrole) • Priorização de defeitos (Gráfico de Pareto) • Relação entre variáveis-chave de entrada e variáveis-chave de saída • Análise do tipo de variação predominante (cartas multivariadas)
Melhoria	<ul style="list-style-type: none"> • Básico sobre Taguchi e DOE • Exercício prático (catapulta)
Controle	<ul style="list-style-type: none"> • Plano de controle • Revisão de FMEA • Padronização das soluções

O treinamento padrão de preparação de especialistas na metodologia (*Black Belts*) consiste de 160 horas, avaliações teóricas e a realização de projetos práticos (HOERL, 2001).

O conteúdo do treinamento dos *Black Belts* aplicado no estudo de caso, segmentado em quatro módulos, está apresentado na Tabela 5. O treinamento foi planejado para 160 horas.

Tabela 5: Programa de treinamento dos *Black Belts*

Módulo 1	Módulo 2
<ul style="list-style-type: none"> • Visão geral do Seis Sigma • Seleção de projetos • As funções no Seis Sigma • Integração das ferramentas no DMAIC • Mapeamento de processos • Estatística descritiva • Probabilidade e distribuições de probabilidade • Orientação sobre pacote estatístico • Teoria da amostragem e inferência estatística 	<ul style="list-style-type: none"> • Controle estatístico de processos (CEP) • Capabilidade de processos • Análise do sistema de medição (MSA) • Cartas multivariadas • Ferramentas básicas e gerenciais da qualidade
Módulo 3	Módulo 4
<ul style="list-style-type: none"> • Análise de variância (ANOVA) • Projetos de experimentos, métodos de Taguchi • DOE Clássico (ênfase em projetos fatoriais fracionados) • Regressão e correlação 	<ul style="list-style-type: none"> • Plano de controle • Revisão de FMEA • Dispositivos à prova de erro • Controle estatístico de processos (CEP) (Compl.) • Padronização

A *American Society for Quality* (ASQ, 2003) também apresenta um corpo de conhecimento necessário para a certificação *Black Belt*. Esse currículo é mais extenso do que o apresentado na Tabela 5, assim como, dos treinamentos convencionais existentes no mercado. O currículo do *Black Belt* versão ASQ inclui outros temas como as técnicas *Lean* (produção enxuta) dentro do Seis Sigma. No entanto, para viabilizar o treinamento do currículo *Black Belt*, versão ASQ, são necessárias mais de 160 horas (ASQ, 2003). Existe uma nova modalidade de Seis Sigma, denominada de *Lean Six Sigma*, que reúne o Seis Sigma com as técnicas *Lean*. Um treinamento padrão nessa nova modalidade está em torno de cinco semanas com uma carga horária de 200 horas (GEORGE, 2002).

O treinamento dos membros das equipes Seis Sigma denominados de *Green Belts* foi planejado para 80 horas. O programa do treinamento está apresentado na Tabela 6.

Tabela 6: Programa de treinamento dos *Green Belts*

Fase	Assunto
Definição	<ul style="list-style-type: none"> • Introdução ao Seis Sigma • Estrutura da Equipe Seis Sigma • Seleção de projetos • Padronização no Seis Sigma (carta de projeto, cronograma) • Mapa de raciocínio • Mapeamento de processos • Condução de projetos
Medição e Análise	<ul style="list-style-type: none"> • Estatística básica (foco em estatística descritiva e distribuições) • Inferência estatística • Ferramentas da qualidade • Análise do sistema de medição (MSA) • Software estatístico • Conceito de variação, cartas de controle e capacidade de processos. • Relação entre variáveis-chave de entrada e variáveis-chave de saída
Melhoria	<ul style="list-style-type: none"> • Básico sobre Taguchi e DOE • Exercícios práticos com projeto, realização e análise de um experimento. • Geração, avaliação e seleção de soluções.
Controle	<ul style="list-style-type: none"> • Plano de controle • Revisão de FMEA • Padronização das soluções

3.3 A ABORDAGEM SELECIONADA PARA O DMAIC

Em função das referências, foram definidas as atividades e ferramentas recomendadas para cada uma das fases do DMAIC. Essa definição também não é rígida, pois cada projeto pode ter uma integração específica, mas serve de orientação, tendo em vista o expressivo número de atividades e ferramentas apresentadas e disponíveis na literatura.

3.3.1 Fase de Definição

A seqüência sugerida, como um modelo para a fase de definição com as atividades e ferramentas, é a seguinte: (i) determinar as necessidades importantes para os clientes e estratégicas do negócio e os potenciais projetos Seis Sigma (ii) selecionar os projetos Seis Sigma, (iii) selecionar a equipe de projeto, (iv) determinar os objetivos e medidores do projeto, (v) determinar o impacto financeiro do projeto, (vi) determinar o escopo do projeto, (vii) criar uma carta de projeto e um plano geral, (viii) elaborar fluxograma com a integração inicial das ferramentas e iniciar mapa de raciocínio.

A Figura 13 apresenta as atividades e ferramentas recomendadas para a fase de definição.

Fase	Objetivo	Principais atividades do DMAIC	Principais Ferramentas/Métodos
Definição	Definição de oportunidades e avaliação financeira	<ul style="list-style-type: none"> Determinar as necessidades importantes para os clientes e estratégicas para o negócio 	<ul style="list-style-type: none"> Plano de negócios Conhecimento da organização Pesquisa mercado / satisfação QFD <i>Brainstorming</i>
		<ul style="list-style-type: none"> Selecionar os projetos Seis Sigma 	<ul style="list-style-type: none"> Matriz de causa-e-efeito Matriz de priorização
		<ul style="list-style-type: none"> Selecionar a equipe de projeto 	<ul style="list-style-type: none"> Conhecimento da organização
		<ul style="list-style-type: none"> Determinar os objetivos e medidores do projeto 	<ul style="list-style-type: none"> Plano de negócios Indicadores/Gráficos Mapeamento do processo (nível macro).
		<ul style="list-style-type: none"> Determinar o impacto financeiro do projeto 	<ul style="list-style-type: none"> Custos da qualidade
		<ul style="list-style-type: none"> Definir o escopo do projeto 	<ul style="list-style-type: none"> Conhecimento da organização
		<ul style="list-style-type: none"> Documentar o projeto 	<ul style="list-style-type: none"> Carta de projeto Cronograma / Gráfico de Gantt
		<ul style="list-style-type: none"> Definir as ferramentas para o restante do projeto (integração inicial) e iniciar mapa de raciocínio. 	<ul style="list-style-type: none"> Fluxograma Mapa de raciocínio Mapas genéricos Conhecimento da organização

Figura 13: Atividades e ferramentas recomendadas para a fase de definição

As necessidades importantes para os clientes são identificadas através de mecanismos, tais como, pesquisa de satisfação e o conhecimento da organização sobre os clientes. As necessidades estratégicas do negócio são determinadas basicamente através do plano de negócios e do conhecimento da organização. Os potenciais projetos Seis Sigma são definidos pela alta gerência a partir das necessidades importantes para os clientes e estratégicas do negócio.

A seleção dos projetos Seis Sigma é realizada a partir de uma matriz de priorização. Na matriz de priorização, os temas com potencial de se tornarem projetos Seis Sigma são analisados com base em critérios e pesos. Os projetos que apresentarem a maior pontuação são selecionados como projetos Seis Sigma.

Na definição da equipe de projeto, usualmente, o coordenador do Seis Sigma (*Master Black Belt*) propõe a formação das equipes ao Comitê da Qualidade, que formaliza as equipes através de consenso.

Com relação à determinação dos objetivos e medidores do projeto, Blakeslee (1999) afirma: “O desafio real do Seis Sigma não é a estatística. É a medição do desempenho atual do negócio, em relação a requisitos dinâmicos dos clientes, enquanto desenvolvem as habilidades internas para responder as condições de mercado”. Nesse sentido, Breyfogle III *et al.* (2001) exemplificam que a General Electric (GE) desenvolveu uma lista de características críticas para a qualidade (*Critical to Quality Characteristics – CTQ’s*) para assegurar que as projetos atendam ao mesmo tempo, as necessidades dos clientes e estratégicas do negócio. No nível dos processos, deve-se dar preferência a medidores (indicadores) que avaliem as variáveis de saída dos processos. Por exemplo, os projetos podem ser avaliados através de medidas financeiras, tempo de ciclo e capacidade de processos.

O impacto financeiro do projeto normalmente é o principal motivador da gerência. Um projeto Seis Sigma típico deverá apresentar um retorno financeiro anual de US\$ 150 mil

dólares (DOES *et al.*, 2002), de US\$ 50 mil a US\$ 200 mil dólares (BREYFOGLE III *et al.*, 2001) e US\$ 175 mil dólares (HARRY *apud* MAGUIRE, 1999). Caso o projeto não possua impacto financeiro expressivo, deverá apresentar outros ganhos que justifiquem sua escolha, tais como, atendimento a um objetivo estratégico, redução de tempo de ciclo pela metade, redução de PPM a um terço do nível atual. Para dar credibilidade aos ganhos financeiros é recomendável a inclusão de membros da área financeira nos projetos Seis Sigma.

Eckes (2001) define o escopo do projeto como “... as fronteiras dentro das quais a equipe está trabalhando...”, ou seja, o escopo determina o tamanho do projeto. Conseqüentemente, um projeto muito grande pode levar um tempo excessivo para ser concluído ou até pode ser inviável. Breyfogle III *et al.* (2001) comparam essa situação, dizendo: “não dá para aquecer a água do oceano”. Um projeto Seis Sigma típico deveria durar em torno de três meses (LUCAS, 2002), quatro a seis meses e não deveria exceder oito a doze meses (WERKEMA, 2002). Segundo Eckes (2001), os primeiros projetos deveriam durar de 120 a 160 dias. Quando a duração do projeto excede a 160 dias, as chances de sucesso diminuem. Pande *et al.* (2001) não definem um tempo específico para a duração do projeto, mas recomendam que o projeto deva ser “...significativo e manejável”. Geralmente, isso significa manter as tarefas pequenas e bem localizadas.

Um mínimo de documentação é necessário para padronizar o processo do Seis Sigma. A carta de projeto é um documento que apresenta o projeto e, tipicamente, pode incluir: descrição do projeto, objetivos, dados da equipe, principais medidores (indicadores), datas-chave e aprovações dos responsáveis. O plano geral é um cronograma, normalmente, um gráfico de Gantt, ou seja, um gráfico de barras que apresenta as atividades a serem desenvolvidas ao longo do tempo. Breyfogle III *et al.* (2001) recomendam a utilização da carta de projeto, pois ela age como um plano de projeto preliminar e aumenta o espírito de equipe. O principal benefício da carta de projeto é o aumento da coesão da equipe, através de

um senso de propriedade do projeto. A carta de projeto deve ser revisada e aprovada pela gerência para verificação do alinhamento com os objetivos e estratégias da organização. Esse documento também auxilia a gerência na revisão e acompanhamento do projeto.

Para a integração inicial das ferramentas, é elaborado um fluxograma com as atividades e ferramentas que serão contempladas. A seguir, é iniciado um mapa de raciocínio. Existem modelos de integração das ferramentas genéricos. Para cada tipo de projeto existe uma integração idealizada. Essa integração inicial também auxilia na elaboração do plano do projeto (cronograma), fornecendo uma visão do tipo e quantidade de atividades a serem executadas. Durante a execução do projeto, a integração das ferramentas é atualizada através do mapa de raciocínio. Na pesquisa bibliográfica, não foi detectada a utilização dessa abordagem da realização do fluxograma com a integração das ferramentas para cada projeto com a execução do mapa de raciocínio na seqüência, que atualiza o caminho a ser percorrido.

3.3.2 Fase de Medição

A seqüência sugerida para a fase de medição com as atividades e a integração das ferramentas, é a seguinte: *(i)* elaborar mapa detalhado do processo, *(ii)* definir as variáveis-chave de saída, *(iii)* definir plano para coleta de dados, *(iv)* realizar estudos de repetibilidade e reprodutibilidade, *(iv)* medir o desempenho das variáveis-chave de saída.

A Figura 14 apresenta as atividades e ferramentas recomendadas para a fase de medição.

Fase	Objetivo	Principais atividades do DMAIC	Principais Ferramentas / Métodos
Medição	Medição de processos e conversão em informação que indique soluções.	• Elaborar mapa detalhado do processo	• Mapeamento de processos
		• Definir variáveis-chave de saída	• Conhecimento da organização • QFD
		• Análise do sistema de medição	• Estudos de R&R
		• Coleta dos dados	• Plano de coleta de dados • Planilha para estudos de capacidade • Estatística descritiva
		• Medir o desempenho das principais variáveis	• Gráficos seqüenciais • Cartas de controle • Capacidade de processos

Figura 14: Atividades e ferramentas recomendadas para a fase de medição

O mapa detalhado do processo apresenta as etapas do processo e as variáveis que influenciam o processo. A partir do mapa do processo (fluxograma com as principais etapas), são identificadas as variáveis de entrada que influenciam as variáveis de saída. A identificação das variáveis de entrada pode ser realizada através do diagrama de causa-e-efeito. Para cada variável-chave de saída (Y) são definidas variáveis de entrada (X) (Figura 15). A identificação das variáveis de entrada pode ser realizada através do conhecimento técnico da equipe. Esse conhecimento também é denominado de “sabedoria da organização” (BREYFOGLE III *et al.*, 2001).

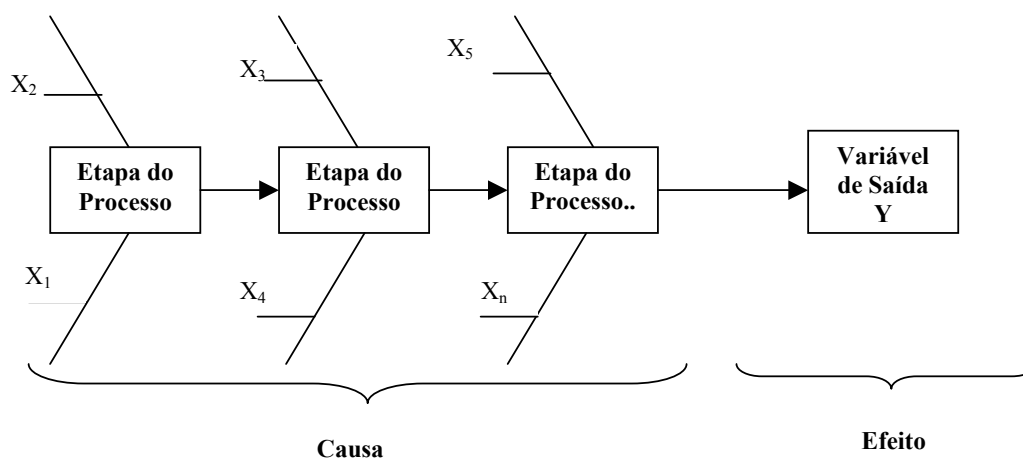


Figura 15: Mapeamento do processo e diagrama de causa-e-efeito relacionando as variáveis

As variáveis-chave de saída são definidas basicamente a partir do conhecimento técnico da equipe. Por exemplo, são consideradas variáveis de saída aquelas usadas para medir o desempenho do projeto.

É necessário avaliar o sistema de medição antes de medir as variáveis de saída. O estudo mais utilizado é o de repetitividade e reprodutibilidade (R&R). Podem ser utilizados outros estudos, tais como, linearidade, estabilidade e tendência, dependendo das características do sistema de medição (AIAG, 1995).

A coleta de dados é utilizada para verificação do desempenho da variável-chave de saída. É desejável que os dados sejam coletados de acordo com um plano de medição previamente estabelecido.

O desempenho das variáveis de saída é avaliado, usualmente, através de uma série temporal e estudos de capacidade. A série temporal pode incluir a inclusão de limites de controle calculados estatisticamente, sendo nessa situação, denominada de carta de controle.

3.3.3 Fase de Análise

A seqüência sugerida para a fase de análise com as atividades e a integração das ferramentas é a seguinte: *(i)* priorizar os principais tipos de defeitos, *(ii)* verificar relação entre as variáveis de entrada e de saída, *(iii)* priorizar as principais variáveis e *(iv)* analisar tipo de variação predominante.

A Figura 16 apresenta as atividades e ferramentas recomendadas para a fase de análise.

Fase	Objetivo	Principais atividades do DMAIC	Principais Ferramentas / Métodos
Análise	Análise de dados e conversão em informação que indique soluções (determinação das causas).	<ul style="list-style-type: none"> • Priorizar principais tipos de defeitos 	<ul style="list-style-type: none"> • Gráfico de Pareto
		<ul style="list-style-type: none"> • Verificar relação entre variáveis X's ou KIV's e Y's ou KOV's 	<ul style="list-style-type: none"> • Matriz de priorização • QFD • Gráfico de Pareto • Correlação • Regressão • Testes de hipótese
		<ul style="list-style-type: none"> • Priorizar principais variáveis 	<ul style="list-style-type: none"> • Gráfico de Pareto
		<ul style="list-style-type: none"> • Analisar tipo de variação predominante 	<ul style="list-style-type: none"> • Cartas multivariadas

Figura 16: Atividades e ferramentas recomendadas para a fase de análise

A priorização dos principais tipos de defeitos ou oportunidades de melhoria no processo pode ser realizada através do diagrama de Pareto. Este diagrama permite a separação dos “pouco vitais dos muito úteis” (JURAN, 1999).

Na seqüência, é verificada a força da relação existente entre as variáveis de entrada e de saída. A técnica recomendada é a matriz de priorização. Na montagem da matriz de priorização, utiliza-se o conhecimento técnico da equipe. Quando surgirem dúvidas com relação à influência de uma determinada variável, pode-se utilizar um método mais preciso, tal como, a correlação estatística.

Usualmente, não é viável a eliminação de todas as causas influentes nas variáveis de saída. Como consequência, é necessária a priorização das variáveis de entrada, ou seja, deve-se identificar as variáveis mais influentes. Isso pode ser realizado através de um diagrama de Pareto.

Como reforço da análise, pode ser verificado através de carta multivariada se existe algum tipo de variação predominante sob os aspectos, de posição (dentro do subgrupo), variação cíclica (entre subgrupos) e temporal (entre intervalos de tempo) (BOTHE, 1992). Esse tipo de análise multivariada não é obrigatório, constituindo-se numa alternativa para

análise de problemas cujas causas não estejam visíveis através da matriz de priorização e análise de correlação.

3.3.4 Fase de Melhoria

A seqüência sugerida para a fase de melhoria, contemplando atividades e a integração das ferramentas, é a seguinte: (i) selecionar os fatores e níveis, (ii) executar experimentos e analisar resultados, (iii) determinar as tolerâncias e (iv) implementar as soluções e verificar a capacidade do novo processo.

A Figura 17 apresenta as atividades e ferramentas recomendadas para a fase de melhoria.

Fase	Objetivo	Principais atividades do DMAIC	Principais Ferramentas / Métodos
Melhoria	Aperfeiçoamento dos processos e obtenção de resultados (usualmente através da remoção das causas).	<ul style="list-style-type: none"> • Selecionar fatores e níveis 	<ul style="list-style-type: none"> • Planejamento do experimento
		<ul style="list-style-type: none"> • Executar experimentos e analisar resultados 	<ul style="list-style-type: none"> • DOE Clássico • Métodos de Taguchi • Superfície Resposta (RSM) • EVOP (Operação Evolutiva)
		<ul style="list-style-type: none"> • Determinar tolerâncias 	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensionamento de tolerâncias
		<ul style="list-style-type: none"> • Verificar capacidade do novo processo e implementar soluções 	<ul style="list-style-type: none"> • Estudos de capacidade

Figura 17: Atividades e ferramentas recomendadas para a fase de melhoria

As variáveis de entrada são também denominadas de fatores. Os fatores a serem incluídos no experimento são aqueles identificados no gráfico de Pareto ou através de correlação média ou forte em uma análise de correlação. Os níveis consistem das possíveis alternativas existentes para cada variável de entrada. Normalmente, a técnica de filtragem ou

análise exploratória (*screening*) é empregada em experimentos iniciais, ou seja, selecionam-se entre os fatores experimentais os mais importantes. Para a filtragem dos fatores, emprega-se usualmente dois níveis. No entanto, com dois níveis só é possível a visualização de efeitos lineares. Após a seleção inicial dos fatores, são realizados experimentos com mais níveis, o que possibilita a identificação de efeitos não lineares.

Os projetos fatoriais são o tipo de experimento mais utilizado em aplicações industriais. Existem duas alternativas principais para a sua aplicação: a escola clássica e os métodos de Taguchi. Usualmente, os experimentos via métodos de Taguchi são menores (menor número de ensaios) e a sua análise é simplificada. Isso permite a aplicação por pessoal com menor conhecimento de estatística. No entanto, para as atividades de produção por processos, tais como, processos químicos, os métodos de superfície resposta e operação evolutiva (EVOP) são recomendados.

As tolerâncias das variáveis de entrada são determinadas através do estudo dos níveis dos fatores que apresentaram melhor desempenho nos experimentos.

As soluções identificadas necessitam ser implantadas e verificadas. A verificação deve ser realizada através de um estudo de capacidade de processo. No estudo de capacidade, é avaliada a estabilidade do processo e a sua capacidade em atender as especificações.

3.3.5 Fase de Controle

A seqüência sugerida para a fase de controle é a seguinte: (i) estabelecer os padrões de medição, (ii) manter os ganhos obtidos através de padronização e (iii) treinamento dos envolvidos.

A Figura 18 apresenta as atividades e ferramentas recomendadas para a fase de controle.

Fase	Objetivo	Principais atividades do DMAIC	Principais Ferramentas
Controle	Manutenção dos ganhos obtidos	<ul style="list-style-type: none"> • Estabelecer parâmetros de processo e características de produto e suas respectivas especificações. • Manter os ganhos obtidos através da padronização. • Treinamento dos envolvidos 	<ul style="list-style-type: none"> • FMEA • Plano de controle • Instruções de trabalho • Gráficos seqüenciais • Cartas de controle para características especiais • <i>Poka Yoke</i>

Figura 18: Atividades e ferramentas recomendadas para a fase de controle

Os parâmetros de processo e características dos produtos e suas respectivas especificações constituem os padrões a serem controlados. O documento que tipicamente reúne essas informações é denominado de plano de controle. A avaliação dos riscos potenciais que o processo possa apresentar é realizada através da ferramenta FMEA. Como o plano de controle é um quadro resumido do controle de processo, pode ser necessário o emprego de instruções de trabalho, que detalham aspectos importantes do processo, tais como, critérios de execução e aprovação do processo. Para atividades que dependam da atenção humana, são recomendáveis os dispositivos à prova de erros (*Poka Yoke*).

O método típico para o acompanhamento dos processos é através de séries temporais com ou sem limites de controle.

Para que as atividades sejam conduzidas da forma planejada é necessário treinar o pessoal.

4. AÇÕES EMPREENDIDAS E RESULTADOS OBTIDOS

A descrição das ações empreendidas e a análise dos resultados obtidos a partir das ações implementadas nos projetos correspondem a terceira e quarta etapas do método de trabalho. A avaliação da metodologia Seis Sigma está relacionada à quinta etapa do método de trabalho.

4.1 DESCRIÇÃO DA ORGANIZAÇÃO

A organização que é objeto deste estudo de caso possui 1200 funcionários e faturamento em torno de trezentos milhões de reais/ano. A empresa atua no segmento de desenvolvimento, comercialização e fabricação de capacitores eletrolíticos e de filme plástico para a indústria eletroeletrônica em geral. Os mercados de atuação incluem os mercados nacional e internacional, representando esses mercados 40% e 60% do seu faturamento, respectivamente. A organização do estudo de caso integra um grupo transnacional que se dedica ao segmento de componentes eletroeletrônicos, classificados genericamente como elementos passivos. Esse grupo ocupa a segunda posição no mercado mundial. A unidade de

capacitores eletrolíticos é o centro de competência em nível mundial do grupo para as atividades de desenvolvimento e fabricação.

Os clientes são, em geral, outras empresas que fabricam bens duráveis, tais como, automóveis, computadores, televisores e telefones celulares. As principais exigências dos clientes referem-se ao desempenho do produto, baixo nível de defeitos e alta confiabilidade. O desempenho está relacionado aos parâmetros dos produtos que estão diretamente vinculados com a variabilidade. O nível de defeitos afeta basicamente a montagem dos componentes. A confiabilidade refere-se às falhas que ocorrem após a montagem do produto, seja em estoque ou durante a aplicação.

O negócio pode ser definido em função do produto e do benefício. No momento em que o cliente compra um produto, está de fato adquirindo um benefício. O cliente compra o produto pela solução oferecida. Estão disponíveis diversos casos de empresas que tiveram ou que desapareceram em função de uma orientação somente para o produto, em detrimento de uma visão mais voltada para o mercado (LEVITT, 1990). A definição do negócio com base no produto é: “desenvolver e fabricar capacitores para a indústria eletroeletrônica em geral”. A definição do negócio com base no benefício corresponde a: “oferecer soluções em termos de acumulação de energia e funções afins para utilização em circuitos eletroeletrônicos”.

Aproximadamente 30% da força de trabalho possui terceiro grau. A organização caracteriza-se por possuir expressivo número de pessoal de nível técnico com terceiro grau, oriundo das áreas de engenharia, química e física. Essa característica facilita o desenvolvimento de iniciativas mais complexas e técnicas como o Seis Sigma.

A organização é certificada, através de entidades independentes, nos padrões internacionais de qualidade ISO 9000 e ISO/TS 16949 (específico para a área automotiva). Adicionalmente, possui certificações de segunda parte de clientes.

A organização possui uma cultura voltada para a inovação e é pró-ativa, no sentido de atender e se antecipar a novas exigências do mercado. O comprometimento da alta direção é forte. O histórico de projetos anteriores fornece crédito para novas iniciativas. No entanto, existem áreas com maior aceitação a novas idéias e, por conseqüência, com maior probabilidade de sucesso do que outras.

O processo de fabricação dos componentes é seriado. Os componentes podem ser considerados tipicamente como *commodities*. Como o processo é seriado e os lotes de produção são grandes (normalmente acima de 5000 itens), essa situação é adequada para a aplicação, com eficácia, de métodos estatísticos.

4.2 ESTRUTURA DO SEIS SIGMA

A estrutura para a aplicação do Seis Sigma foi basicamente a mesma definida no modelo do capítulo 3, exceto que os *Green Belts* ainda não foram treinados. O papel dos *Green Belts* está sendo exercido pelos demais integrantes das equipes de projetos, os quais possuem conhecimentos básicos de métodos de solução de problemas (Figura 19).

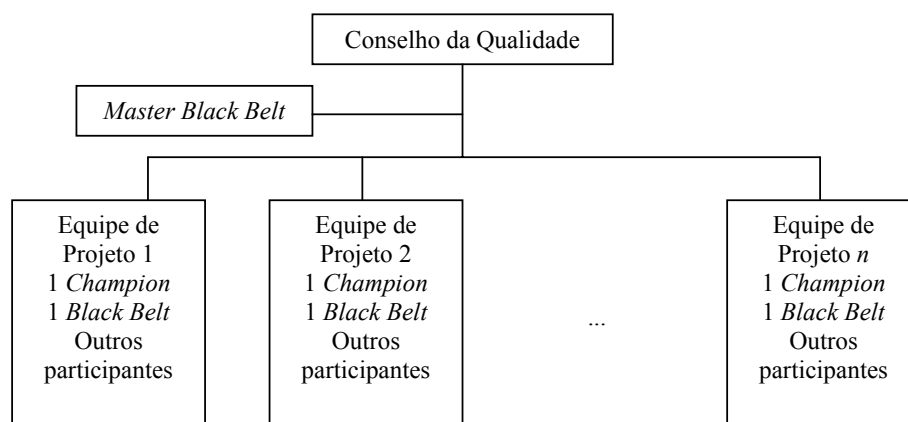


Figura 19: Estrutura do Seis Sigma em uso

4.2.1 Perfil dos *Black Belts*

Verificou-se que é importante ter algum de critério formalizado para a seleção do pessoal. A seleção dos *Black Belts* foi realizada de um modo informal. O envolvimento da área de Recursos Humanos (RH) no processo de seleção foi um aspecto relevante. A seleção dos *Black Belts* foi realizada de modo alinhado com as políticas dessa área, considerando a evolução das pessoas na organização. Através dos resultados, verificou-se que a seleção através de um método mais estruturado, tal como, entrevistas e análise por de matrizes correlacionando as necessidades do projeto e as competências dos candidatos, podem melhorar os resultados.

4.2.2 Dedicção dos *Black Belts*

A sistemática de usar os *Black Belts* em tempo parcial apresenta a desvantagem da falta de concentração e continuidade na condução dos projetos Seis Sigma. A rotina diária na organização acaba absorvendo parte do tempo dos *Black Belts*. As melhorias são consideradas importantes na organização, mas existe uma tendência natural de que as atividades não tão importantes, mas aparentemente mais urgentes sejam priorizadas em detrimento dos projetos Seis Sigma. A literatura tipicamente recomenda o uso de *Black Belts* em tempo integral. Uma alternativa para a organização é o emprego de alguns *Black Belts* em tempo integral e o restante em tempo parcial. Os *Black Belts* em tempo integral ficariam em torno de dois anos atuando dessa forma e após seriam novamente incorporados em uma função tradicional da organização. Isso possibilita que gradativamente as pessoas se tornem efetivamente especialistas na metodologia e a incorporem a metodologia às suas atividades. Outro aspecto a favor de manter alguns *Black Belts* em tempo integral é a otimização dos recursos. A

organização pode dispor de um profissional gerando resultados expressivos em tempo integral. No entanto, deve-se também considerar os aspectos culturais na organização. Não é usual a sistematização das pessoas trabalhando por projetos. As pessoas usualmente trabalham em uma função (departamento) da organização.

Tendo em vista os resultados alcançados, pode-se afirmar que a dedicação parcial dos *Black Belts* está sendo eficaz, pois a relação custo-benefício é favorável, ou seja, os projetos em sua maioria têm alcançado seus objetivos. Ao final deste capítulo, é apresentada, através da Tabela 18, um resumo sobre o atendimento aos objetivos dos projetos.

4.3 TREINAMENTOS NO SEIS SIGMA

Os treinamentos foram planejados usando métodos didáticos que facilitassem a absorção dos conceitos. A ênfase recaiu no uso de métodos que permitem uma visualização dos conceitos teóricos de difícil absorção, tais como, supercontrole de processos, variação, fatores, níveis, variáveis de saída e outros. Os principais métodos usados foram Galton's Quincunx, catapulta romana, experimento do helicóptero, Funil de Nelson, demonstrador de amostragem para atributos e outros. Reforçando a abordagem usada, Juran (1988) afirma que, no contexto industrial, o método direto de ministrar aulas não é suficiente e recomenda a utilização de outros meios, citando os métodos de Galton's Quincunx e demonstrador de amostragem para atributos. O Galton's Quincunx simula um processo, resultando em uma distribuição discreta, que se aproxima de uma distribuição normal. O demonstrador de amostragem para atributos consiste de um recipiente com contas, ou seja, elementos discretos, que são coletados através de um amostrador com quantidade fixa, que simula um processo de amostragem para atributos. Hoerl (2001:401) cita o emprego do experimento do helicóptero

no treinamento de *Black Belts*. Box *et al.* (1999) também indicam o uso do experimento do helicóptero para o treinamento em projetos de experimentos. O conceito de supercontrole é facilmente explicado através do Funil de Nelson (DEMING, 1994). O Funil de Nelson é um dispositivo que simula, através da posição de um funil em relação a um objetivo, possíveis modos de regulação de um processo. Essa abordagem aplicada permitiu um aumento no volume de conhecimento transmitido por unidade de tempo. Por exemplo, enquanto os cursos tradicionais em Seis Sigma, enfocam os métodos de experimentação clássica, em quantidade semelhante de tempo foram transmitidos os conhecimentos referentes aos métodos de Taguchi e métodos de experimentação clássica. Inclusive, nas duas primeiras turmas de *Black Belts* também foram repassados os métodos de Shainin. Mas como houve uma polarização dos *Black Belts* no sentido do uso dos métodos de Taguchi, os métodos de Shainin não foram mais ministrados. Esses métodos poderão no futuro fazer parte de um processo de aprofundamento e ampliação dos conhecimentos dos *Black Belts*.

O treinamento dos *Champions* foi executado em 20 horas. Essa carga horária é um pouco inferior a carga citada na literatura, usualmente de 3 a 5 dias (24 a 40 horas). No entanto, como o treinamento usou recursos didáticos que facilitavam a absorção dos conceitos, foi possível cobrir o programa usual em 20 horas.

O modelo convencional para o treinamento dos *Black Belts* prevê uma carga horária de 160 horas dividida em quatro etapas de 40 horas. Nos treinamentos deste estudo de caso, foi usada uma carga horária mais distribuída ao longo do tempo, com 4-5 horas semanais ou 4-5 horas a cada quinze dias. Os principais objetivos dessa abordagem foram a possibilidade de diminuir o impacto no andamento das atividades normais da organização e a viabilização do desenvolvimento em paralelo dos treinamentos nas primeiras turmas. Verificou-se que essa abordagem foi eficaz, tendo em vista principalmente os resultados obtidos nos projetos desenvolvidos pelos *Black Belts*. No entanto, uma carga horária mais concentrada facilita a

execução dos projetos. O conhecimento necessário para realizar determinada atividade está disponível mais cedo para o *Black Belt*, evitando atrasos nos projetos. Observa-se também que essa abordagem funcionou, principalmente, devido ao elevado grau de conscientização para a qualidade existente na organização. O retardo na obtenção de resultados pode afetar seriamente o processo Seis Sigma em organizações que não apresentem uma cultura para a qualidade forte.

O programa do treinamento do *Black Belts* não incluiu aspectos relacionados a gestão de pessoas, equipes e como lidar com mudanças. Alguns *Black Belts* relataram dificuldade na condução dos seus projetos, devido à falta de maiores conhecimentos em aspectos relacionados a relações humanas. O currículo do treinamento dos *Black Belts* será revisto incluindo esses aspectos. Detalhes do gerenciamento de mudanças podem ser encontrados em Kotter (1997).

As equipes Seis Sigma foram formadas basicamente pelos *Black Belt* e mais um grupo de 4 a 6 pessoas, em geral, com pessoas ligadas à área-chave responsável pela oportunidade de melhoria. A exceção dos *Black Belts*, os demais componentes do grupo não haviam sido treinados em Seis Sigma. Constatou-se que a falta de treinamento no Seis Sigma pelos demais participantes prejudicava o andamento dos trabalhos, visto que o *Black Belt* necessitava utilizar parte do seu tempo convencendo o pessoal da utilidade e viabilidade de algumas técnicas, tais como, projetos de experimentos. Para evitar essa situação, os demais componentes dos grupos serão gradativamente treinados segundo o currículo já planejado para os *Green Belts*.

4.4 DESCRIÇÃO DAS AÇÕES E RESULTADOS DA APLICAÇÃO DE PROJETOS

Os projetos executados seguiram as fases do DMAIC apresentadas na seção 3. As atividades e ferramentas usadas em cada uma das fases foram baseadas no modelo definido na seção 3. No entanto, devido a suas características, cada projeto pode não necessitar de todas as atividades e ferramentas apresentadas no modelo.

Foram executados ou estão em andamento 23 projetos na organização. Com o objetivo de facilitar a descrição da aplicação da metodologia, será usada como base a descrição de um projeto que apresentou bons resultados. Também serão utilizadas, de forma complementar, informações referentes a outros projetos. A intenção de descrever um projeto específico é criar uma espécie de “fio condutor” para a apresentação das atividades e ferramentas do Seis Sigma, visando facilitar o entendimento. Na descrição do estudo de caso colocada a seguir, foram utilizadas informações baseadas em dados de relatório de Lessa (2002).

4.4.1 Descrição de um projeto específico

Em um processo de fabricação de capacitores de filme plástico, o índice PPM (Partes por Milhão com Defeito) não estava atendendo as expectativas de um importante cliente. Esse cliente possuía como *benchmark* outro fornecedor com processo semelhante e que produzia com um nível de 500 PPM. O PPM atual do processo havia sido melhorado substancialmente, mas estava estabilizado em torno de 3000-4000 PPM. O PPM é medido no processo logo após as peças receberem um banho de epóxi. Não existe nenhum processo de seleção das peças após o processo de banho epóxi, sendo o PPM o índice real de defeitos que o processo está

gerando. Essa consideração é importante, pois o uso de inspeção 100% é freqüente na produção de componentes eletrônicos.

A seguir são dados mais detalhes sobre o produto e processo:

Internamente, o capacitor é formado por um filme plástico (polipropileno ou poliéster) metalizado por uma liga a base de alumínio. O dielétrico é o próprio filme plástico (Figura 20).

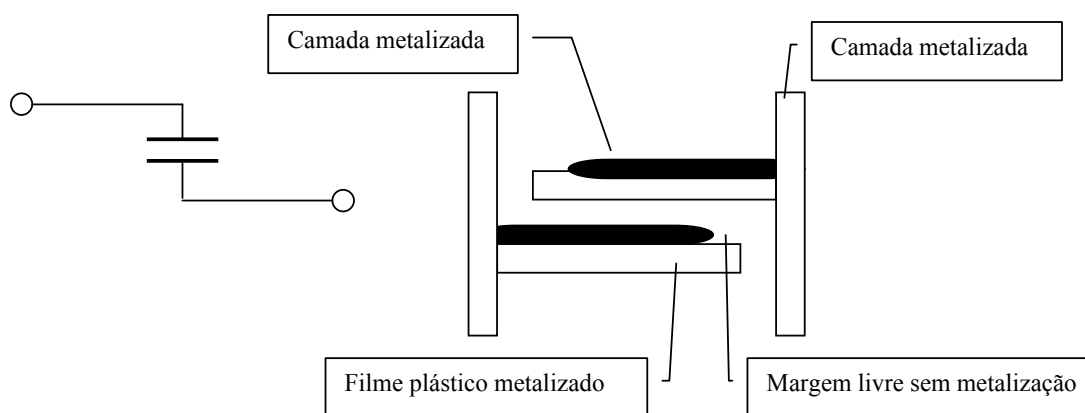


Figura 20: Estrutura interna de um capacitor

O filme plástico metalizado é bobinado formando uma bobina. Essa bobina recebe uma camada metalizada nas bordas. Nas bordas são soldados os terminais (Figura 21).

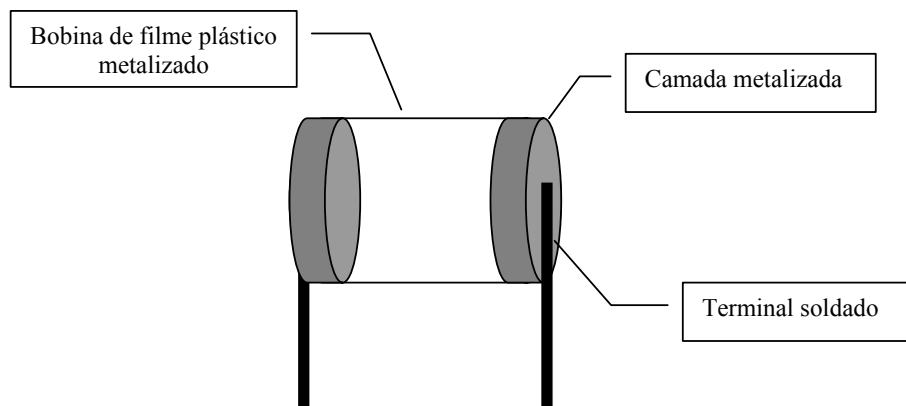


Figura 21: Bobina do capacitor com os terminais soldados

O corpo do capacitor é recoberto por uma camada de epóxi (Figura 22). O objetivo dessa camada é a proteção do filme metalizado contra a oxidação.

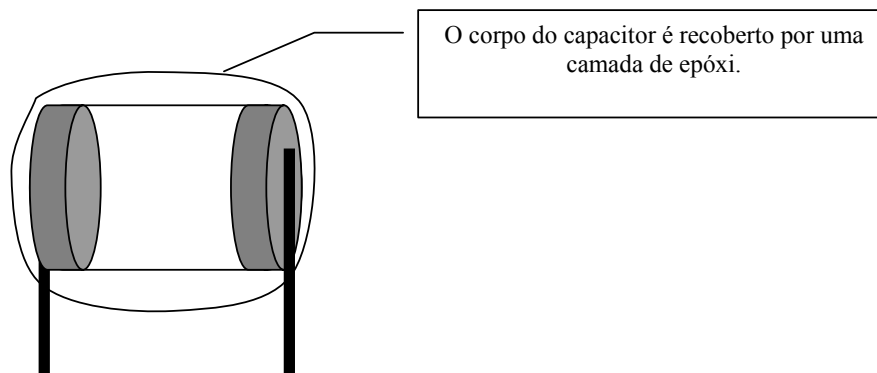


Figura 22: Camada de epóxi cobrindo o corpo do capacitor

Os principais defeitos são: (i) “furos” no revestimento, (ii) “corpo estranho” e (iii) “peça descoberta”. Os “furos” no revestimento epóxi são ocasionados pela liberação do ar existente no interior da bobina no momento do banho ou recebimento da camada de epóxi. O defeito “corpo estranho” é ocasionado durante o processo por pequenos pedaços de filme que se desprendem do capacitor durante o processo de fabricação. A “peça descoberta” ocorre quando a camada de revestimento é insuficiente para recobrir adequadamente o componente.

Fase de Definição

Na fase de definição foram executadas as seguintes atividades: (i) identificação das necessidades importantes para os clientes e estratégicas para o negócio (ii) seleção dos projetos Seis Sigma (iii) seleção da equipe de projeto, (iv) determinação do impacto financeiro do projeto, (v) definição do escopo, (vi) elaboração da documentação inicial do projeto, (vii) definição das ferramentas a serem utilizadas e (viii) início do mapa de raciocínio.

As necessidades estratégicas do negócio e importantes para os clientes foram determinadas basicamente pelo conhecimento da organização e informações do plano de negócios.

Os projetos Seis Sigma foram identificados em grupos (rodadas) de projetos, ligados aos treinamentos dos especialistas na metodologia Seis Sigma. Os grupos (rodadas) de projetos são também denominados na linguagem do Seis Sigma pela metáfora “onda”. Em cada grupo (rodada) de projetos, os membros da Alta Direção se reuniram e identificaram os temas com potencial de se tornarem projetos Seis Sigma. Esses “candidatos” a projetos Seis Sigma estavam relacionados com as estratégias da organização e com as expectativas dos clientes. Na seqüência, os projetos foram submetidos a uma matriz de priorização, que selecionou os melhores projetos a partir de filtros (critérios). No primeiro grupo (rodada), houve uma preocupação especial na seleção dos projetos, procurando selecionar projetos que apresentassem maior probabilidade de sucesso, ou seja, projetos mais fáceis de serem executados. Essa abordagem era importante para dar credibilidade ao Seis Sigma. O presente projeto faz parte da primeira rodada de projetos e foi selecionado principalmente em função da sua importância estratégica.

Após a seleção dos projetos pela alta Direção, foram definidas as equipes de trabalho. Essas equipes foram compostas por, pelo menos, um *Black Belt* e os demais participantes. A equipe deste estudo de caso foi composta de um *Black Belt* e mais cinco participantes.

Na seqüência, foram determinados o objetivo e o medidor do projeto. O objetivo do projeto foi a redução do PPM do patamar de 3000-4000 PPM para 500 PPM. Foi selecionado como medidor o índice PPM, ou seja, uma medida de desempenho em qualidade.

Tipicamente, os projetos Seis Sigma devem apresentar um benefício econômico expressivo. Como alternativa, o projeto pode visar melhoria radical de qualidade. Essa é a

situação deste estudo de caso. O projeto não possuía impacto financeiro direto, mas caso a melhoria da qualidade não fosse atingida poderiam ocorrer reflexos nos negócios da organização, com pelo menos um importante cliente. Outros projetos Seis Sigma desenvolvidos apresentaram o seu foco em medidas financeiras.

O escopo do projeto, ou seja, o tamanho do projeto foi considerado viável e possível de ser executado em um período de tempo adequado.

A documentação inicial do projeto incluiu uma carta de projeto (Figura 23). A carta de projeto apresentou um resumo do projeto e inclui nome, descrição do projeto, objetivo do projeto, participantes, medidores do projeto, principais datas e assinatura do líder da equipe (*Black Belt*) e do *Champion*. A carta de projeto funciona como uma “certidão de nascimento” do projeto.

Carta de Projeto	
1. Nome/Descrição do Projeto: - Redução das falhas de aparência no processo de recobrimento com banho epóxi.	
2. Objetivo(s) do Projeto - Redução das falhas de aparência para 500 PPMs (0,05%) no processo produtivo. O índice atual é de 4000 PPM.	
3. Participantes	
Nome	Função no Projeto
...	...
...	...
4. Medição do Projeto	
<input type="checkbox"/> Custo _____ <input checked="" type="checkbox"/> PPM _____ <input type="checkbox"/> Tempo de Ciclo _____ <input type="checkbox"/> Cp/Cpk _____ <input type="checkbox"/> Rend. 1ª Pass. _____	
5. Principais Datas	
Início: ___/___/___ Conclusão da Fase de Definição : ___/___/___ Conclusão da Fase de Medição : ___/___/___ Conclusão da Fase de Análise : ___/___/___ Conclusão da Fase de Melhoria : ___/___/___ Conclusão da Fase de Controle : ___/___/___	
Elaboração:	Aprovação:
_____ Assinatura Representante da Equipe / Data	_____ <i>Champion</i> / Data

Figura 23: Carta de projeto objetivando redução de PPM

A elaboração da carta de projeto ocorreu simultaneamente com a elaboração de um fluxograma com a integração das ferramentas e cronograma. O fluxograma com a integração das ferramentas permitiu uma visualização da quantidade e tipos de atividades e ferramentas e facilitou a execução do cronograma. Na seqüência, é iniciado o mapa de raciocínio que atualiza o projeto e vai mostrando os próximos passos. Na revisão bibliográfica realizada, não foi verificado o emprego da sistemática de realização do fluxograma com a integração das ferramentas para cada projeto junto com o mapa de raciocínio ou, pelo menos, não fica claro que seja realizado dessa forma. Os fluxogramas com a integração das ferramentas são apresentados de forma genérica na literatura. Constatou-se que é relevante a realização desse fluxograma no início do projeto, pois facilita a realização da atividade de elaboração do cronograma e permite uma visualização inicial da dificuldade de executar o projeto.

A Figura 24 apresenta o fluxograma com a integração das ferramentas adotado neste projeto.

Fase	Atividade	Ferramentas
Definição	Definição do projeto ↓ Seleção dos objetivos e medidores do projeto ↓ Definição do escopo do projeto ↓ Planejamento /cronograma do projeto /fluxograma com a integração das atividades e ferramentas ↓	<ul style="list-style-type: none"> • Carta de projeto • Matriz de priorização • Gráficos seqüenciais • Gantt Chart
Medição	Mapa detalhado do processo ↓ Medir desempenho das variáveis de saída	<ul style="list-style-type: none"> • Mapa do processo • Gráfico Seqüencial
Análise	Verificação da relação entre as variáveis ↓ Identificação das principais variáveis ↓	<ul style="list-style-type: none"> • Matriz de priorização • Gráfico de Pareto
Melhoria	Projeto de Experimentos ↓ Avaliação do desempenho do processo ↓	<ul style="list-style-type: none"> • Método de Taguchi
Controle	Padronização do processo	<ul style="list-style-type: none"> • FMEA • Plano de controle • Gráfico seqüencial • Instrução de trabalho

Figura 24: Fluxograma com a integração das ferramentas para a redução do PPM

Pelo método proposto, a próxima atividade a ser executada deveria ser o mapa de raciocínio do processo. Inicialmente, nos primeiros projetos não foram executados mapas de raciocínio. No entanto, percebeu-se que era necessária uma ferramenta dinâmica que atualizasse o fluxograma com a integração das ferramentas, auxiliasse na definição das atividades subsequentes, mostrasse a lógica usada para resolver os problemas e atuasse como um meio de ligação de toda a documentação gerada, facilitando o trabalho de preservação dos conhecimentos obtidos. Detectou-se no início uma certa dificuldade para a realização do mapa de raciocínio, mas essa dificuldade foi superada a partir do seu uso. O mapa de raciocínio é uma prática recomendada por Sanders *et al.* (2000) e Werkema (2002). O mapa de raciocínio mostra o caminho a ser percorrido para o alcance do objetivo do projeto e descreve como o projeto foi efetivamente executado. Na realidade, no projeto apresentado neste estudo de caso, não foi realizado o mapa de raciocínio. Essa ferramenta foi incorporada posteriormente aos projetos Seis Sigma. A título de exemplo, foi realizado posteriormente um mapa de raciocínio para este projeto a partir das informações disponíveis (Figura 25). Alguns projetos apresentaram mapas de raciocínio bastante complexos. Com essas atividades e ferramentas, tipicamente, foi encerrada a fase de definição do estudo de caso.

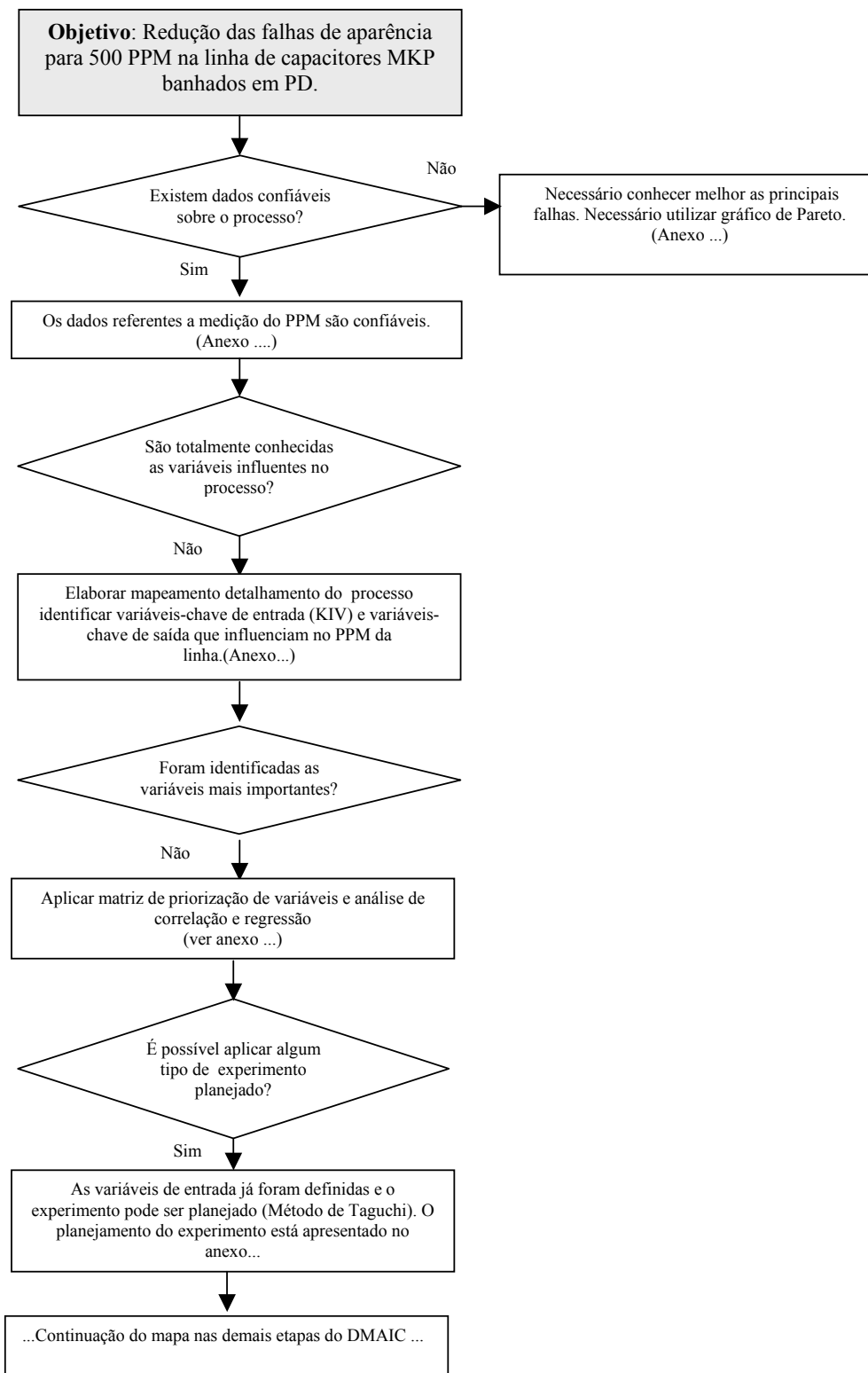


Figura 25: Exemplo de mapa de raciocínio (parcial)

Fase de Medição

Na fase de medição foram executadas as seguintes atividades: (i) elaboração do mapa detalhado do processo, (ii) definição das variáveis-chave de saída, (iii) coleta de dados e (iv) medição do desempenho das principais variáveis.

O mapeamento detalhado do processo foi realizado considerando os principais defeitos como variáveis-chave de saída. Foram identificadas as variáveis de entrada em cada etapa do processo que influenciavam esses defeitos. O método para a realização do mapeamento detalhado foi baseado em Slater (1991) e Sanders *et al.* (1999). Na realidade, esse mapeamento é derivado do diagrama de causa-e-efeito de Ishikawa, sendo as variáveis de entrada consideradas como as causas e as variáveis de saída o efeito. Por exemplo, o mapeamento detalhado de um processo de banho para capacitores, em função da variável de saída “furos no revestimento”, foi realizado conforme ilustrado na Figura 26.

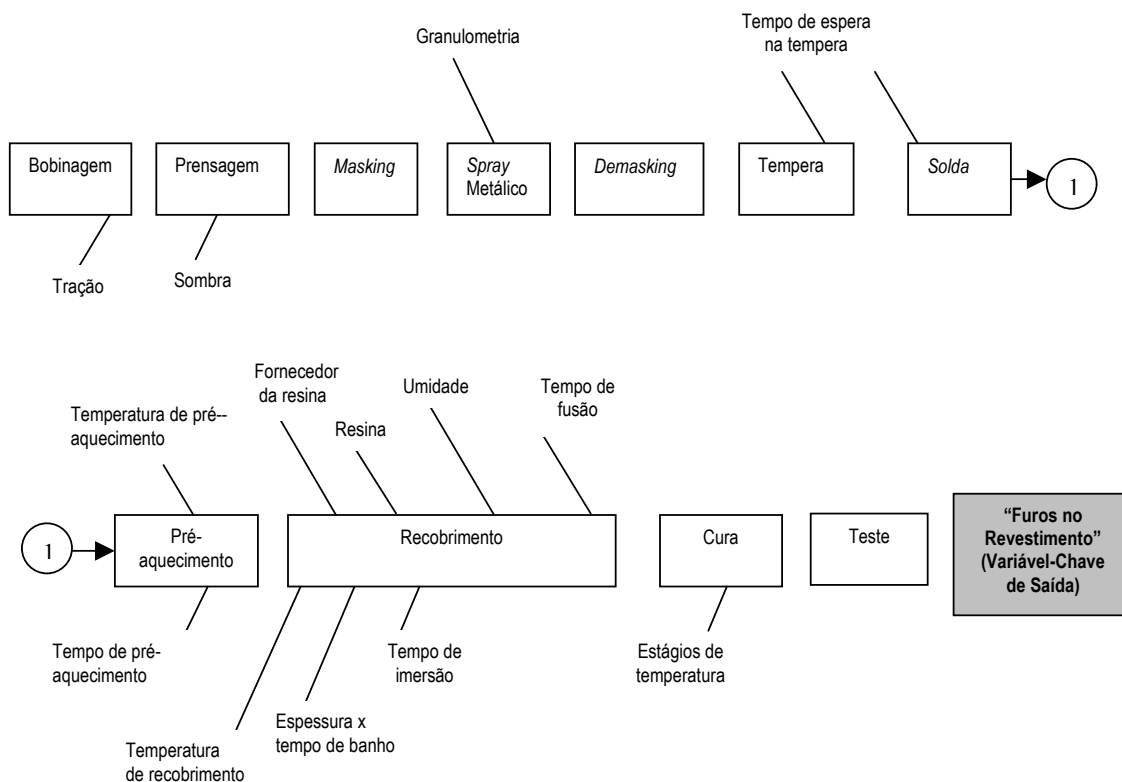


Figura 26: Mapeamento detalhado para a variável de saída “furos no revestimento”

Foram realizados mapeamentos detalhados para mais duas variáveis de saída (defeitos de “corpo estranho” e “peça descoberta”). O mapeamento detalhado não apresenta a força da relação entre as variáveis de entrada e de saída. Esse aspecto será analisado na fase de análise através da matriz de priorização e/ou análise estatística de correlação e regressão.

Existem dois níveis das variáveis de saída: as variáveis de saída do processo / produto e as variáveis de saída do projeto. Pode-se denominar as variáveis de saída do processo / produto de y 's (minúsculo) e as variáveis de saída do projeto de Y 's (maiúsculo). A Figura 27 apresenta esta relação.

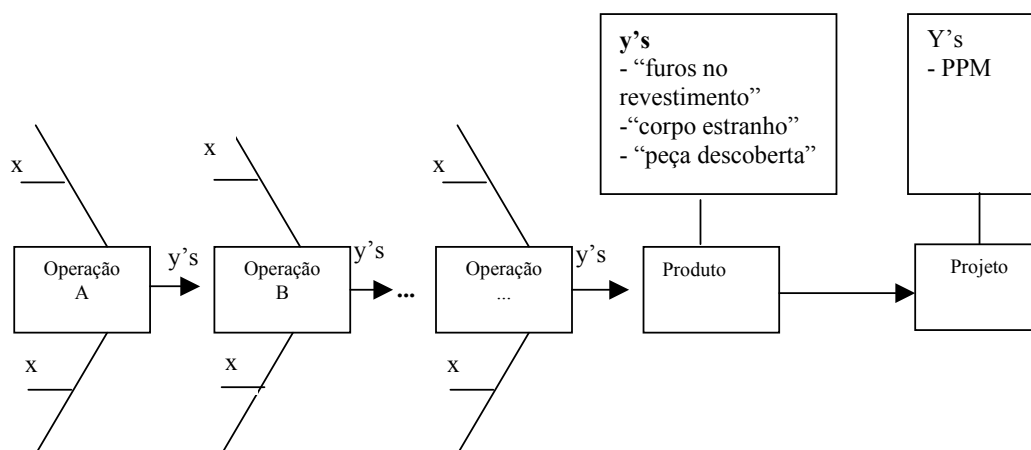


Figura 27: Relação entre variáveis de entrada e de saída do processo / produto e projeto

Neste estudo específico, o sistema de medição se restringiu à avaliação de atributos. Como a avaliação dos defeitos não era difícil, não foi identificada a necessidade de utilização de estudos sobre o sistema de medição, tais como, estudos de repetitividade e reprodutibilidade (R&R).

Na seqüência, foram coletados dados e o desempenho da variável-chave de saída do projeto (PPM) foi medido (Figura 28). O desempenho foi avaliado através de um gráfico seqüencial. O gráfico seqüencial é o mais adequado neste caso, pois o processo não estava

estabilizado. Verifica-se que o processo estava apresentando uma redução gradativa no PPM, mas nos últimos meses estava estável em 3000 PPM. Para dados do tipo atributos, a capacidade do processo pode ser medida pela proporção de defeitos (PPM) (AIAG, 1997).

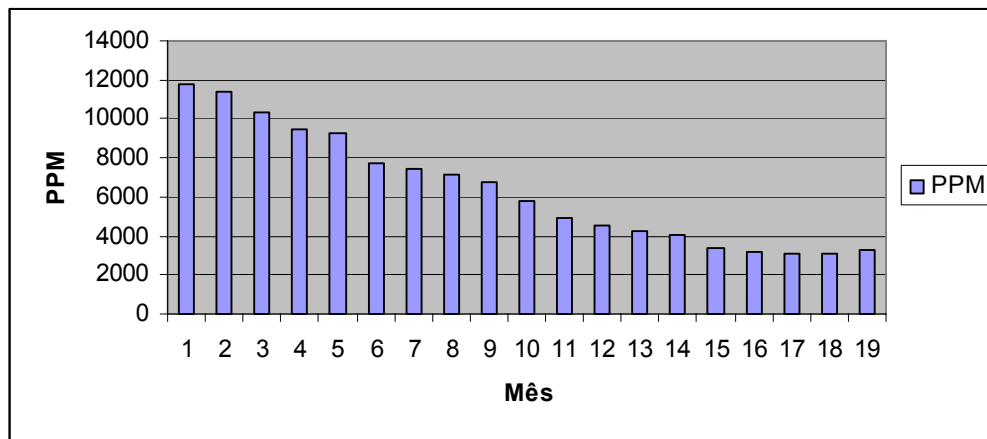


Figura 28: Gráfico seqüencial apresentando a evolução do PPM

Fase de Análise

Na fase de análise foram executadas as seguintes atividades: (i) priorização dos principais tipos de defeitos, (ii) identificação da relação das variáveis de saída em relação aos principais tipos de defeitos e (iii) priorização das principais variáveis.

A priorização dos principais tipos de defeitos que estavam influenciando o PPM foi efetuada através de uma matriz de priorização, ou seja, a partir da identificação das potenciais causas (variáveis de entrada), foi utilizada uma matriz de priorização para filtrar e identificar as variáveis mais importantes que poderiam estar influenciando o resultado do processo (variáveis de saída).

A matriz de priorização permite a incorporação do conhecimento da organização de um modo organizado ao projeto e viabiliza a rápida identificação dos fatores mais importantes do projeto. Exemplo de matriz de priorização é apresentado na Tabela 7. Caso exista alguma dúvida com relação à influência de alguma variável de entrada, pode ser feito um estudo de correlação de variáveis. A matriz de priorização possui a vantagem de trabalhar com um número maior de variáveis ao mesmo tempo, aumentando a produtividade do trabalho. Consegue-se convergir rapidamente de um número expressivo de variáveis para um número que possibilite a aplicação de projeto de experimentos. No presente caso, não foi necessária a utilização de análise de correlação. A matriz de priorização possibilitou a verificação, ao mesmo tempo, da influência das variáveis de entrada em relação às três variáveis de saída identificadas. Pode-se antecipadamente ter uma noção da influência das variáveis de entrada. Isso facilita a obtenção de uma solução de compromisso mais à frente. Necessita-se de uma solução de compromisso, quando um determinado nível de uma variável de entrada ou fator que otimiza uma variável de saída, afeta de modo negativo uma outra variável de saída. Nessa situação, busca-se uma solução que atenda às variáveis de saída em consideração. Caso existam dúvidas em relação à influência de alguma variável, pode-se recorrer à análise de correlação e regressão.

Tabela 7: Matriz de priorização

		Variáveis de saída			Resultado	Percentual
		“Furos no revestimento”	“Peça descoberta”	“Corpo estranho”		
Pesos →		6	8	7		
Variáveis de entrada ↓						
1	Tração do filme de bobinagem	4	0	0	24	1,75%
2	Sombra (<i>metal spraying</i>)	3	0	0	18	1,31%
3	Granulometria (<i>metal spraying</i>).	5	0	0	30	2,18
4	Tempo de pré-aquecimento	8	0	0	48	3,49
5	Fornecedor de resina epóxi	9	0	0	54	3,93
6	Tempo de fusão
...	...					
31	...					
Total					1374	100%

A priorização das variáveis de entrada que estavam influenciando as variáveis de saída foi realizada através da pontuação na matriz de priorização. As variáveis de entrada que receberam a maior pontuação foram priorizadas e selecionadas.

Fase de Melhoria

Na fase de melhoria foram executas as seguintes atividades: (i) seleção dos fatores e níveis, (ii) execução do experimento e análise dos resultados, (iii) determinação dos níveis ótimos do processo e tolerâncias, (iv) verificação da capacidade do processo e implementação das soluções.

As variáveis que apresentaram a pontuação mais alta na matriz de priorização foram selecionadas para fazerem parte do projeto de experimento. Na linguagem da experimentação planejada, essas variáveis são denominadas de fatores. A análise desses fatores não identificou a existência de interações importantes. Ocorre uma interação quando o resultado causado por um fator é alterado em função do nível de um outro fator. A Tabela 8 apresenta

os onze fatores e respectivos níveis selecionados. A técnica para a seleção dos níveis consistiu na identificação de níveis que forçassem a ocorrência de variação nos resultados experimentais. No entanto, foram tomados cuidados para que não houvesse mudança no modo de ocorrência dos defeitos (modos de falha).

Tabela 8: Fatores e níveis do experimento L_{12}

Fatores			Nível 1	Nível 2
1	A	Temperatura de pré-aquecimento	Alto	Baixo
2	B	Temperatura de recobrimento	Alto	Baixo
3	C	Temperatura de pré-cura	Baixo	Alto
4	D	Tempo de pré-aquecimento	Longo	Curto
5	E	Tempo de recobrimento	Longo	Curto
6	F	Tempo de fusão	Longo	Curto
7	G	Tempo de fluidização	Longo	Curto
8	H	Vibrador A	Alto	Baixo
9	I	Vibrador C	Alto	Baixo
10	J	Vibrador D	Baixo	Alto
11	K	Ciclo de banho	4	3

O método experimental selecionado foi o de Taguchi. Esse método foi escolhido devido a sua simplicidade, eficácia e histórico de resultados positivos de sua aplicação na organização. Através dos métodos de Taguchi, pode-se obter uma combinação dos níveis dos fatores de controle que minimizem a variação e os defeitos, mesmo na presença de fatores não controláveis (fatores de ruído). Nessa estratégia, a busca das causas dos problemas não é o foco e sim a busca de uma combinação robusta que seja afetada de forma minimizada pelos fatores que causam variação. Depois da seleção dos fatores, os passos adotados para a realização de um experimento de Taguchi foram os seguintes: (i) cálculo dos graus de liberdade, (ii) seleção do arranjo ortogonal, (iii) alocação dos fatores ao arranjo ortogonal, (iv) execução do experimento, (v) avaliação das peças, (vi) tabulação dos resultados,

(vii) identificação dos fatores fortes e melhores níveis, (viii) previsão dos resultados e (ix) condução do experimento de confirmação.

Os graus de liberdade medem a quantidade de informação existente. À medida que aumenta o número de fatores, aumenta o número de graus de liberdade. O número de graus de liberdade do fator é igual ao número de níveis dos fatores menos 1, vezes o número de fatores. Isso resultou em onze graus de liberdade associados aos fatores.

O menor arranjo ortogonal de dois níveis, que possibilita a acomodação de onze graus de liberdade, é o arranjo denominado como L_{12} . No arranjo L_{12} as interações que potencialmente podem existir são distribuídas em diversas colunas, estando misturadas com os efeitos principais dos fatores. Dessa forma, caso exista uma interação forte e que não foi considerada, o seu efeito no experimento será minimizado. Na realidade, a estratégia de Taguchi é considerar as interações como fatores de ruído. Os fatores de ruído são variáveis cujo controle é economicamente inviável ou tecnicamente impossível. Os arranjos de Taguchi são frações do fatorial completo. Por exemplo, as combinações dos 11 fatores com dois níveis fornecem 2048 possibilidades. De fato, são testadas doze dessas combinações e a partir desses resultados, são estimados os melhores níveis para cada um dos fatores. Não foi identificada a necessidade de considerar fatores de ruído no experimento. Caso fosse necessário, os fatores de ruído seriam incluídos em um arranjo externo ao arranjo ortogonal destinado aos fatores de controle.

A matriz ortogonal, que representa o arranjo L_{12} , é apresentada na Tabela 9 (PEACE, 1993). Os fatores são identificados pela numeração de 1 a 11 na segunda linha da tabela. Os números 1 e 2 dentro da matriz representam os níveis dos fatores. O número do experimento na primeira coluna representa cada uma das combinações das 12 versões experimentais ou tratamentos. Os tratamentos são as combinações de fatores e níveis a serem experimentados. A matriz é considerada ortogonal ou balanceada, pois o número de níveis de cada fator é

igual. Por exemplo, para o fator identificado pelo número 1, o nível 1 ocorre seis vezes e o nível dois outras seis vezes.

Tabela 9: Arranjo ortogonal L_{12} baseado em Peace (1993)

N ^o Exp.	Fatores										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
3	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2
4	1	2	1	2	2	1	2	2	1	1	2
5	1	2	2	1	2	2	1	2	1	2	1
6	1	2	2	2	1	2	2	1	2	1	1
7	2	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1
8	2	1	2	1	2	2	2	1	1	1	2
9	2	1	1	2	2	2	1	2	2	1	1
10	2	2	2	1	1	1	1	2	2	1	2
11	2	2	1	2	1	2	1	1	1	2	2
12	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2	1

A Tabela 10 apresenta os onze fatores e os 12 respectivos tratamentos informados em seus níveis reais (equivalentes aos níveis codificados 1 e 2 que aparecem na tabela 9). Na realidade, os valores dos níveis reais da Tabela 10 foram modificados para preservação da confidencialidade das informações. Os tratamentos são as combinações dos níveis dos fatores necessárias para a realização de cada uma das versões do experimento. Essa forma de apresentação, utilizando os níveis reais, facilita o controle do experimento, minimizando os riscos de erros no momento da execução dos tratamentos.

Tabela 10: Arranjo ortogonal L_{12} apresentando os níveis reais das variáveis

	1 (A)	2 (B)	3 (C)	4 (D)	5 (E)	6 (F)	7 (G)	8 (H)	9 (I)	10 (J)	11 (K)
Nº Exp.	Temper. Pré-aquec.	Temper. de recob.	Tempo de pré-cura.	Tempo Pré-aquec.	Tempo de recobrimento	Tempo de fusão	Tempo de fluidização	VIB A	VIB C	VIB D	Ciclo de Banho
1	Alto	Alto	Baixo	Longo	Longo	Longo	Longo	Alto	Alto	Baixo	4
2	Alto	Alto	Baixo	Longo	Longo	Curto	Curto	Baixo	Baixo	Alto	3
3	Alto	Alto	Alto	Curto	Curto	Longo	Longo	Alto	Baixo	Alto	3
4	Alto	Baixo	Baixo	Curto	Curto	Longo	Curto	Baixo	Alto	Baixo	3
5	Alto	Baixo	Alto	Longo	Curto	Curto	Longo	Baixo	Alto	Alto	4
6	Alto	Baixo	Alto	Curto	Longo	Curto	Curto	Alto	Baixo	Baixo	4
7	Baixo	Alto	Alto	Curto	Longo	Longo	Curto	Baixo	Alto	Alto	4
8	Baixo	Alto	Alto	Longo	Curto	Curto	Curto	Alto	Alto	Baixo	3
9	Baixo	Alto	Baixo	Curto	Curto	Curto	Longo	Baixo	Baixo	Baixo	4
10	Baixo	Baixo	Alto	Longo	Longo	Longo	Longo	Baixo	Baixo	Baixo	3
11	Baixo	Baixo	Baixo	Curto	Longo	Curto	Longo	Alto	Alto	Alto	3
12	Baixo	Baixo	Baixo	Longo	Curto	Longo	Curto	Alto	Baixo	Alto	4

Outros experimentos foram realizados com um número maior de fatores e níveis. Por exemplo, em outro projeto Seis Sigma da organização, foram empregados 22 fatores, sendo 11 fatores de dois níveis e 11 fatores de 3 níveis. O arranjo ortogonal selecionado foi um L_{36} . Esse arranjo identifica através de 36 experimentos pelo menos uma das combinações robustas em um universo de 362.797.056 possíveis combinações dos níveis dos fatores do processo. O resultado deste experimento foi extraordinário. O índice de capacidade do processo denominado Cpk, que considera a centralização do processo, foi melhorado mais de 4 vezes para uma determinada característica. Em geral, à medida que aumenta o número de fatores e níveis, maior é a chance de sucesso no experimento, principalmente, se ainda não foram explorados os conceitos de planejamento de experimentos.

Na execução do experimento, foram produzidas 1792 peças para cada um dos tratamentos. Foi necessária uma amostra de tamanho grande, porque o resultado do experimento necessitava ser avaliado através de atributos. A probabilidade de ocorrência de um defeito era tipicamente de 4000 PPM. Um cuidado fundamental foi a correta utilização dos níveis de cada um dos fatores. O pessoal de operação do processo foi treinado para execução do experimento e houve uma adequada supervisão através da equipe de trabalho.

A avaliação das peças produzidas foi realizada de modo visual. A Tabela 11 apresenta os resultados tabulados para cada um dos tratamentos. Por exemplo, no tratamento 1 (experimento 1) foram detectadas zero peças com “furos”, oito peças com “corpos estranhos” e uma “peça descoberta” em um total de 1792 peças produzidas.

Tabela 11: Resultados tabulados para cada um dos experimentos (tratamentos)

N ^o Exp.	Fatores											Resultados				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Boas	Furo	Corpo Estr.	Peça Desc.	Total
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1782	0	8	1	1792
2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1759	1	9	16	1792
3	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	1659	67	53	0	1792
4	1	2	1	2	2	1	2	2	1	1	2	1689	13	29	56	1792
5	1	2	2	1	2	2	1	2	1	1	1	1506	112	43	31	1792
6	1	2	2	2	1	2	2	1	2	2	1	1697	30	53	0	1792
7	2	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1717	0	5	57	1792
8	2	1	2	1	2	2	2	1	1	1	2	1726	4	37	20	1792
9	2	1	1	2	2	2	1	2	2	1	1	1684	0	4	85	1792
10	2	2	2	1	1	1	1	2	2	1	2	1433	128	71	139	1792
11	2	2	1	2	1	2	1	1	1	2	2	1642	41	100	0	1792
12	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2	1	1759	1	28	0	1792

Obs.: A diferença entre o total de peças e a soma de peças boas mais peças com “furos”, “corpo estranho” e “peça descoberta” é devida a outros tipos de defeitos.

Para a identificação dos fatores fortes (que possuem maior influência), inicialmente devem ser identificados os resultados para cada nível dos fatores. O resultado dessa avaliação

está apresentado na Tabela 12. Por exemplo, o resultado do fator A no nível 1 em relação ao defeito “furos” é dado pela soma de todos os resultados do fator A no nível 1, ou seja, $223 = 1+67+13+112+30$.

Tabela 12: Avaliação de cada um dos fatores

	Boas	“Furo”	“Corpo estranho”	“Peça descoberta”	Total
A1	10092	223	195	104	10763
A2	9961	174	245	301	10762
B1	10327	72	116	179	10762
B2	9726	325	324	226	10763
C1	10315	56	178	158	10763
C2	9738	341	262	247	10762
D1	9965	246	196	207	10763
D2	10088	151	244	198	10763
E1	10030	200	246	213	10763
E2	10023	197	194	192	10763
F1	10039	209	194	253	10763
F2	10014	188	246	152	10762
G1	9706	348	279	256	10763
G2	10347	49	161	149	10763
H1	10265	143	279	21	10765
H2	9788	254	161	384	10761
I1	10062	170	222	165	10763
I2	9991	227	218	240	10763
J1	10011	175	202	301	10762
J2	10042	222	238	104	10763
K1	10145	143	141	174	10763
K2	9908	254	299	231	10763

Obs.: A diferença entre a soma de peças boas mais peças com “furos”, “corpo estranho” e “peça descoberta” corresponde a outros tipos de defeitos.

O efeito de um fator de dois níveis é fornecido pela diferença entre os resultados do fator em cada um dos seus níveis. O efeito de um fator é a sua “força”. Os fatores fortes são aqueles que apresentam os maiores efeitos. A Tabela 13 apresenta os efeitos dos fatores. Os fatores com maior efeito para “furos” são os fatores B, C, D, G, H e K. Os fatores com maior efeito para “corpo estranho” são os fatores B, C, G, H e K. Os fatores com maior efeito para “peça descoberta” são os fatores A, C, F, G, H e J. Considerando a busca de uma solução de compromisso para a seleção dos fatores e níveis e considerando que o defeito mais grave é o

defeito denominado de “furos”, a combinação recomendada foi: A2, B1, C1, D2, E2, F2, G2, H1, I1, J1 e K1.

Tabela 13: Apresentação dos efeitos dos fatores

	“Boas”	“Furos”	“Corpo estranho”	“Peça Descoberta”
Efeito de A=A2-A1	-131	-49	+50	+197
Efeito de B=B2-B1	-601	+253	+208	+47
Efeito de C=C2-C1	-577	+285	+84	+89
Efeito de D=D2-D1	+123	-95	+48	-9
Efeito de E=E2-E1	-7	-3	-52	-21
Efeito de F=F2-F1	-25	-21	+52	-101
Efeito de G=G2-G1	+641	-299	-118	-107
Efeito de H=H2-H1	-477	+111	-118	+363
Efeito de I=I2-I1	-71	+57	-4	+75
Efeito de J=J2-J1	+31	+47	+36	-197
Efeito de K=K2-K1	-237	+111	+158	+57

Para verificação da reprodução dos resultados deve-se gerar uma estimativa de resposta em função das condições recomendadas (A2, B1, C1, D2, E2, F2, G2, H1, I1, J1 e K1). Esta previsão é comparada com os resultados da experiência de confirmação. A estimativa de resposta (média do processo) é calculada utilizando o somatório dos efeitos dos fatores nas melhores condições. A Equação 5 fornece uma estimativa para previsão da resposta média $\hat{\mu}$:

$$\hat{\mu} = \bar{T} + (\bar{A}_i - \bar{T}) + (\bar{B}_i - \bar{T}) + \dots + (\bar{Z}_i - \bar{T}) + \text{Efeito das interações} \quad (\text{Eq. 5})$$

onde: $\hat{\mu}$ é estimativa da média da variável resposta na condição otimizada, A_i, B_i, \dots, Z_i representam os fatores e respectivos níveis e \bar{T} corresponde a média de todos os resultados.

Existem características medidas em percentagem, tais como, percentagem de defeitos e rendimento, onde a aditividade pode ser deficiente para resultados próximos a zero ou cem por cento. Quando é calculada a resposta média estimada, pode ser obtido um valor maior do que 100 % ou menor que 0%. Isso não tem sentido físico. Essas situações são resolvidas

através do emprego da transformação Ômega (PEACE, 1993). A transformação Ômega (Equação 6) converte frações entre 0 e 1 para valores entre menos infinito e mais infinito. Para a previsão dos resultados utilizando a transformação Omega, foram executados os seguintes passos: (i) passo 1: transformar os valores dos dados percentuais em valores db (decibel) através da fórmula Ômega, (ii) passo 2: utilizar a equação $\hat{\mu}$ para estimar a resposta média usando valores Ômega, (iii) passo 3: converter o valor db obtido em valor percentual utilizando a fórmula Ômega (Eq. 6).

$$\Omega = -10 \log\left(\frac{1}{p} - 1\right) \text{ em decibéis (db)} \quad (\text{Eq. 6})$$

onde, Ω (Ômega) é o resultado do nível do fator convertido de percentual em decibel e p corresponde a fração defeituosa para o fator em um determinado nível.

Passo 1: Os resultados da transformação Ômega para os defeitos “furo” “peça descoberta” e “corpo estranho” são apresentados nas Tabelas 14, 15 e 16.

A seguir, é apresentado um exemplo do cálculo realizado para a transformação de percentual para a unidade decibéis da transformação Ômega (Equação 6) considerando o fator A no nível 2 (A_2), onde a fração de defeito “furo” é dada por $174/10762 = 0,01617$.

$$\Omega_{A_2} = -10 \log\left(\frac{1}{\frac{174}{10762}} - 1\right) \text{ db} = -17,843 \quad (\text{Eq. 6})$$

As Tabelas 14, 15 e 16 apresentam cálculos usando a transformação Ômega para os três tipos de defeitos.

Tabela 14: Resultados da aplicação da transformação Ômega para o defeito "furo"

	A ₂	B ₁	C ₁	D ₂	E ₂	F ₂	G ₂	H ₁	I ₁	J ₁	K ₁	T
Nº defeitos	174	72	56	151	197	188	49	143	170	175	143	397
Nº itens	10762	10762	10763	10763	10763	10762	10763	10765	10763	10762	10763	21504
p(fração)	0,016	0,007	0,005	0,014	0,018	0,017	0,005	0,013	0,016	0,016	0,013	0,018
p%	1,617	0,669	0,520	1,403	1,830	1,747	0,455	1,328	1,580	1,626	1,329	1,846
db	-17,843	-21,716	-22,815	-18,468	-17,294	-17,501	-23,398	-18,709	-17,946	-17,817	-18,708	-17,256

Tabela 15: Resultado da aplicação da transformação Ômega para o defeito "peça descoberta"

	A ₂	B ₁	C ₁	D ₂	E ₂	F ₂	G ₂	H ₁	I ₁	J ₁	K ₁	T
Nº defeitos	301	179	158	198	192	152	149	21	165	301	174	405
Nº itens	10762	10762	10763	10763	10763	10763	10763	10765	10763	10762	10763	21504
p(fração)	0,028	0,017	0,015	0,018	0,018	0,024	0,014	0,002	0,015	0,028	0,016	0,019
p%	2,797	1,663	1,468	1,840	1,784	2,351	1,384	0,195	1,533	2,797	1,617	1,883
db	-15,410	-17,718	-18,269	-17,272	-17,408	-16,185	-18,527	-27,089	-18,077	-15,410	-17,843	-17,168

Tabela 16: Resultados da aplicação da transformação Ômega para o defeito "corpo estranho"

	A ₂	B ₁	C ₁	D ₂	E ₂	F ₂	G ₂	H ₁	I ₁	J ₁	K ₁	T
Nº defeitos	245	116	178	244	194	246	161	279	222	202	141	2228
Nº itens	10762	10762	10763	10763	10763	10763	10763	10765	10763	10762	10763	21504
p(fração)	0,023	0,011	0,017	0,023	0,018	0,023	0,015	0,026	0,021	0,019	0,013	0,104
p%	2,276	1,078	1,654	2,267	1,803	2,286	1,496	2,592	2,063	1,877	1,310	10,361
db	-17,327	-19,627	-17,743	-16,346	-17,362	-16,310	-18,186	-15,750	-16,765	-17,183	-18,770	-9,371

Passo 2: Estimativa da média $\hat{\mu}$ através da Equação 5, usando os valores da transformação Ômega para cada um dos tipos de defeitos. Por exemplo, a equação 5 para a média de defeitos para furos, ficou:

$$\begin{aligned} \hat{\mu}_{\text{Defeitos}} = & \bar{T} + (\bar{A}_2 - \bar{T}) + (\bar{B}_1 - \bar{T}) + (\bar{C}_1 - \bar{T}) + (\bar{D}_2 - \bar{T}) + (\bar{E}_2 - \bar{T}) + \\ & (\bar{F}_2 - \bar{T}) + (\bar{G}_2 - \bar{T}) + (\bar{H}_1 - \bar{T}) + (\bar{I}_1 - \bar{T}) + (\bar{J}_1 - \bar{T}) + (\bar{K}_1 - \bar{T}) \end{aligned} \quad (\text{Eq. 5})$$

Utilizando a equação 5, a estimativa média ($\hat{\mu}$) em decibéis para cada um dos tipos de defeitos corresponde a: $\hat{\mu}_{\text{Furos}} = -39,651$, $\hat{\mu}_{\text{Peça Descoberta}} = -29,781$ e $\hat{\mu}_{\text{Corpo Estranho}} = -96,658$.

Passo 3: Conversão do valor db obtido em valor percentual utilizando a fórmula ou tabelas Ômega. Pode-se obter o valor exato esperado, calculando através da fórmula da transformação Ômega, isolando o valor de p . A estimativa de resultados para os três tipos de defeitos foi: $\hat{\mu}_{Furos} = 108$ PPM, $\hat{\mu}_{Peça\ Descoberta} = 1052$ PPM e $\hat{\mu}_{Corpo\ Estranho} = 0$ PPM. Existem outros ajustes que podem dar bons resultados. Outra alternativa de ajuste seria: A1, B1, C1, D2, E2, F2, G2, H1, I1, J2 e K1. O PPM esperado com esse ajuste, utilizando a transformação Ômega, seria: $\hat{\mu}_{Furos} = 178$ PPM, $\hat{\mu}_{Peça\ Descoberta} = 120$ PPM e $\hat{\mu}_{Corpo\ Estranho} = 0$ PPM. Esse ajuste apresenta um bom equilíbrio entre os níveis de PPM associados aos três tipos de defeitos. No entanto, optou-se pelo defeito “furo” que é considerado o mais grave.

No experimento de confirmação foram produzidas inicialmente 2000 peças e mais aproximadamente 100.000 peças ao longo de duas semanas e não foi detectado nenhum dos três tipos de defeitos, ou seja, o resultado foi zero PPM. No entanto, surgiu um novo defeito, denominado espessura da camada acima do especificado. Nessa situação, foi planejado um novo experimento considerando essa nova característica da peça. Os fatores considerados foram os mesmos, no entanto, houve pequenas alterações em alguns níveis dos fatores. A combinação ajustada considerando a nova situação foi: A2, B1, C1, D1, E2, F1, G2, H2, I1, J2 e K1. O PPM total nessa nova situação ficou próximo de 200.

As ações para redução do PPM concentraram-se no projeto de experimento. Em alguns projetos, já no início das fases de medição e análise foram identificadas ações que auxiliariam na solução do problema. A técnica recomendada para o acompanhamento das ações é o mapa de raciocínio. Também poderia ser empregada, como uma técnica de apoio, o 5WH para a implementação das ações. Essa técnica é útil para a elaboração de planos de ação.

Fase de Controle

Na fase de controle foram realizadas as seguintes atividades: (i) estabelecimento dos parâmetros do processo e características de produto, (ii) padronização do processo, (iii) monitoramento do processo e (iv) treinamento dos envolvidos.

Para o estabelecimento dos parâmetros do processo e características do produto foi revisado o FMEA do processo. A partir do FMEA de processo, foi revisado o plano de controle. O modelo de plano de controle é o mesmo usado na norma QS-9000.

A padronização do processo ocorreu através da incorporação nas instruções de trabalho dos níveis dos fatores definidos nos experimentos.

O monitoramento do processo foi realizado através do acompanhamento do PPM. A Tabela 17 apresenta os resultados do PPM para o processo em um período de seis meses. Pode-se verificar que os resultados atingiram plenamente a meta de obtenção de um PPM menor do que 500. Houve um período de dois meses, no qual ocorreu uma causa especial que afetou os resultados. Eliminada a causa especial, o processo retornou ao nível esperado. Após a padronização do processo, ocorreu o treinamento do pessoal operacional.

Tabela 17: Acompanhamento do PPM durante seis meses

		Mês					
		1	2	3	4	5	6
PPM	→	50,21	187,35	45,26	Ver obs.	Ver Obs.	152,93
Obs.: Os meses de números de 4 e 5 apresentaram uma causa especial na resina do banho, sendo portanto desconsiderados.							

Resumo da situação do projeto do estudo de caso

O projeto do estudo de caso utilizou praticamente todas as atividades e ferramentas previstas no modelo proposto para o Seis Sigma, exceto estudo de repetitividade e reprodutibilidade (R&R) e mapa de raciocínio, as quais foram testadas e utilizadas com êxito em outros projetos. Como o objetivo do projeto era alcançar 500 PPM e foi atingido um resultado que atendeu plenamente a esse objetivo (PPM abaixo de 200), pode-se afirmar que o projeto foi concluído com sucesso.

4.4.2 Situação geral dos projetos Seis Sigma

A amostra de um projeto é pequena para a realização de conclusões sobre o método proposto, por isso serão relatados resultados obtidos junto aos demais projetos. Foram concluídos ou estão em andamento na organização 23 projetos Seis Sigma. A avaliação dos projetos pode ser realizada em função da seguinte hipótese: atenderam aos objetivos ou não. A Tabela 18, baseada em informações de Boer (2003), apresenta um resumo da situação dos projetos Seis Sigma da organização. Foram concluídos 19 projetos, sendo que 79% atingiram os objetivos e 84% alcançaram os demais objetivos de desempenho (por exemplo, qualidade, produtividade, tempo de ciclo). Essa amostragem permite a conclusão que o método proposto está aprovado ou verificado para as condições encontradas em uma organização de grande porte. Uma afirmativa mais precisa e ampla, por exemplo, se o método está validado, necessitaria uma amostragem maior e aplicada em outras situações e organizações.

Tabela 18: Resumo da situação dos projetos Seis Sigma

	Número de projetos	Porcentagem de projetos que atingiram os objetivos econômicos (\$)	Porcentagem de projetos que atingiram os demais objetivos (PPM, produtividade, tempo de ciclo)
Projetos concluídos / encerrados	19	15/19 = 79%	16/19 = 84%
Obs.: Os demais 4 projetos estão em andamento. São projetos mais recentes e estão dentro da previsão.			

Os principais motivos para o não atendimento aos objetivos foram: (i) objetivos muito elevados, sendo que o projeto não possuía potencial para o alcance do objetivo, (ii) necessidade de investimento alto, não possível de ser efetivado no momento e (iii) complexidade do processo, quando algumas ações não atingiram o efeito desejado. No entanto, mesmo não atendendo plenamente aos objetivos estabelecidos, houve situações onde o resultado final do projeto aproximou-se da meta planejada. Por exemplo, projeto que atingiu 83% do objetivo de redução do custo.

4.5 AVALIAÇÃO DA METODOLOGIA SEIS SIGMA

A presente avaliação corresponde à quinta etapa do método de trabalho proposto no capítulo 1.

4.5.1 Como eram conduzidos os projetos antes do Seis Sigma

A análise do método para execução de projetos, antes do Seis Sigma, foi realizada de acordo com os seguintes critérios: *(i)* seleção dos projetos, *(ii)* método para execução e *(iii)* resultados.

A organização possuía alguns mecanismos formais para a identificação de novos projetos. Entre esses mecanismos destacam-se: o planejamento anual de reduções de custos nas áreas de fabricação e iniciativas identificadas no plano de negócios. Na realidade, esses mecanismos identificavam na sua maioria ações. O critério para a identificação dos projetos era basicamente a sabedoria (conhecimento) da organização. O método para a seleção dos projetos não era tão estruturado como no Seis Sigma. A variedade do tipo de projetos e ações era expressiva, ou seja, poderiam ser executados desde projetos de pequeno porte até grandes projetos. Como não existia um método com critérios definidos para a seleção dos projetos, alguns projetos não motivavam o grupo executor e a gerência.

O método para execução dos projetos dependia basicamente da equipe que estava atuando e conseqüentemente da habilidade dos seus membros. Não havia um método estruturado semelhante ao Seis Sigma para a condução dos projetos. Os métodos de execução não previam uma integração de tantas atividades e ferramentas.

Os resultados obtidos na aplicação dos projetos poderiam ser classificados, em geral, como melhorias incrementais e alguns projetos com melhorias radicais. Os resultados obtidos não estavam necessariamente atrelados ao atendimento de critérios, tais como, os utilizados no Seis Sigma. De um modo geral, os resultados obtidos com a sistemática tradicional, não eram tão expressivos como os obtidos com o Seis Sigma.

4.5.2 Avaliação da metodologia proposta

A avaliação da metodologia proposta para o Seis Sigma foi realizada enfocando cada um dos pontos previstos no modelo: (i) estrutura do Seis Sigma, (ii) treinamentos e (iii) abordagem de aplicação baseada no ciclo DMAIC.

O modelo de estrutura proposto para O Seis Sigma é adequado, no entanto, foram detectados três pontos relevantes. A dedicação de tempo dos *Black Belts* aos projetos pode ser facilitada através da designação de alguns *Black Belts* em tempo integral, compondo um modelo misto. O processo de seleção dos *Black Belts* pode ser incrementado através da aplicação de um sistema de seleção mais estruturado. Ficou reforçada a necessidade do treinamento dos demais integrantes da equipe (*Green Belts*). Isso aumentará a produtividade na solução dos problemas e facilitará o trabalho dos *Black Belts*.

Os treinamentos atenderam ao objetivo de capacitar os *Black Belts* e *Champions* para a execução dos projetos. Os resultados comprovaram isso. Em quantidade semelhante de tempo, foram fornecidas mais informações do que o currículo típico apresentado na literatura. Por exemplo, nos treinamentos foram ministradas as técnicas de experimentação clássica e de Taguchi. Essa situação caracteriza uma situação plural, ou seja, com alternativas de ferramentas para uma mesma situação, fornecendo aos especialistas maior liberdade de ação. No entanto, foram detectados pontos de melhoria nos treinamentos. É necessário incluir no

programa dos treinamentos aspectos relacionados à gestão de equipes e gestão de mudanças. É desejável que a carga de treinamento seja aproximada da carga proposta na literatura com sessões de 40 horas concentradas em uma semana com um intervalo de um mês entre as sessões.

A abordagem de aplicação do Seis Sigma com base no DMAIC atendeu plenamente aos objetivos propostos. Foram concluídos 19 projetos. Os objetivos econômicos foram atingidos em 79% dos projetos e os demais objetivos foram alcançados em 84%. Os resultados alcançados com o método proposto dificilmente seriam obtidos através do método convencional utilizado pela organização. Por exemplo, alguns processos estavam estabilizados há um tempo expressivo em níveis inaceitáveis. A metodologia proposta definiu claramente como devem ser executados os projetos de melhoria. Existe uma padronização da documentação. O mapa de raciocínio permite uma visualização do caminho lógico empregado pela equipe de projeto, o qual pode ser replicado em projetos subsequentes.

4.5.3 Análise das atividades e ferramentas utilizadas no ciclo DMAIC

A seleção dos projetos é um ponto crítico. O sucesso do projeto depende fundamentalmente de uma adequada seleção.

O mapeamento do processo baseado no diagrama de causa-e-efeito revelou-se bastante prático e útil na identificação das variáveis (fatores) que afetam o processo.

A matriz de priorização provou a sua utilidade como uma ferramenta que possibilita a rápida convergência na identificação das variáveis de processo. Adicionalmente, viabiliza a participação dos especialistas em processos e produto, organizando o conhecimento disponível na organização. A matriz de priorização mostrou-se como uma alternativa eficaz comparada à análise de variância e aos estudos de correlação e regressão. Essas técnicas

estatísticas podem ser aplicadas em caso de alguma dúvida maior com relação à influência de alguma variável.

Detectou-se uma tendência forte no uso das técnicas de Taguchi em detrimento dos métodos de experimentação clássica, apesar de estar disponível *software* específico para facilitar a aplicação dos métodos clássicos. Os métodos de Taguchi conduzem a experimentos menores e, portanto, têm a preferência dos *Black Belts*.

Em geral, verificou-se que não foi necessária a utilização de métodos estatísticos mais difíceis sob o ponto de vista do usuário, tais como, teste de hipóteses e análise de variância. Foram aplicados com bastante sucesso em diversos projetos ferramentas mais simples e que proporcionam grande produtividade na convergência para a solução dos problemas. Destacam-se nessas técnicas, o mapeamento de processos, a matriz de priorização e os métodos de Taguchi. Verificou-se que o Seis Sigma pode ser operacionalizado, em geral, apoiado em ferramentas mais simples, viabilizando a sua aplicação sem uma carga de estatística tão intensa. Isso pode possibilitar a sua aplicação em organizações de menor porte, com menos recursos.

4.5.4 Vantagens e desvantagens percebidas antes e após a implantação do método proposto

Diversas vantagens foram percebidas após a implantação do Seis Sigma. Pode-se afirmar que o Seis Sigma alterou de forma expressiva a organização em diversos aspectos.

A definição de um método para seleção dos melhores projetos aumentou o interesse e a chance de sucesso dos novos projetos. Os projetos selecionados possuem a capacidade de motivar a gerência, pois obrigatoriamente estavam atrelados a critérios valorizados pela alta

direção, tais como, retorno financeiro. Esse aspecto é uma lacuna nos programas de qualidade tradicionais.

Aumentou expressivamente a capacitação de pessoal-chave da organização, que ocupa ou desempenhará funções gerenciais. O “pensamento estatístico” está entre as habilidades adquiridas por essas pessoas. O “pensamento estatístico” permite o melhor entendimento do funcionamento de processos e sistemas.

Os resultados obtidos nas melhorias dos processos dificilmente seriam alcançados com a abordagem anterior ao Seis Sigma. Houve um aumento radical no nível dos resultados obtidos, por exemplo, redução de PPM e aumento de Cpk (índice de capacidade de processo que considera a centralização).

Houve a definição clara de uma metodologia para a condução dos projetos, que incluiu a padronização da documentação e que prevê a integração de ferramentas estatísticas e não estatísticas em uma seqüência lógica.

A manutenção do conhecimento da organização ficou facilitada pelo tipo de documentação utilizada. O mapa de raciocínio destaca-se nesse papel, descrevendo a história do projeto. Essa documentação funciona como uma base de informações, que facilita o desenvolvimento de novos projetos.

Não foram identificadas desvantagens na aplicação do Seis Sigma. No entanto, foram detectados cuidados adicionais a serem observados. A seleção dos projetos é fundamental, sendo um aspecto crítico do processo. Também é necessário o adequado envolvimento dos *Champions*, que motivam as equipes de projeto e facilitam todo o processo.

5. COMENTÁRIOS FINAIS

O tema abordado neste trabalho foi a metodologia Seis Sigma. O objetivo geral foi propor uma metodologia para a aplicação do Seis Sigma, desenvolver estudos aplicados utilizando a metodologia proposta e avaliar resultados que podem ser obtidos a partir do seu uso. O objetivo específico consistiu em aplicar a metodologia Seis Sigma aos processos de uma empresa do ramo eletro-eletrônico, gerando resultados tanto do ponto de vista financeiro como referentes à qualidade do processo e produto.

No capítulo 2, foi apresentada uma revisão bibliográfica abordando um histórico da evolução da qualidade, o tema satisfação do cliente e a metodologia Seis Sigma. A literatura apresenta uma ligação da satisfação do cliente com a melhoria radical do desempenho que é o objetivo do Seis Sigma. A revisão da metodologia propiciou as informações necessárias para a montagem do modelo para a aplicação do Seis Sigma através de um estudo de caso.

No capítulo 3, foi apresentado o modelo proposto para a aplicação do Seis Sigma. O modelo proposto incluiu três pontos: *(i)* estrutura para a aplicação do Seis Sigma, *(ii)* programa dos treinamentos e *(iii)* atividades e ferramentas para as fases do ciclo DMAIC para a aplicação dos projetos.

No capítulo 4, foram apresentados as ações empreendidas e os resultados obtidos através do modelo proposto, considerando: (i) estrutura para a aplicação do Seis Sigma, (ii) treinamentos, (iii) atividades e ferramentas aplicadas nos estudos aplicados e (iv) o Seis Sigma analisado em seu conjunto.

5.1 CONCLUSÕES

(i) Modelo proposto: estrutura para aplicação do Seis Sigma

A aplicação do modelo de estrutura apresentou resultados, em geral, positivos. Portanto, pode-se concluir que é adequado para o contexto da organização. No entanto, a aplicação revelou alguns pontos de melhoria: (i) o principal entrave detectado foi a falta de tempo dos *Black Belt* para alocação aos projetos de melhoria. Essa situação pode ser aperfeiçoada através da utilização de alguns *Black Belts* em tempo integral e outros em tempo parcial, compondo um modelo misto. (ii) O processo de seleção dos *Black Belts* pode ser aperfeiçoado por meio de uma sistemática de seleção mais estruturada. (iii) O trabalho do *Black Belt* pode ser facilitado através do treinamento e aumento da capacitação dos demais integrantes da equipe de projeto (*Green Belts*) no Seis Sigma.

(ii) Modelo proposto: treinamentos

A capacitação do pessoal envolvido é um ponto-chave para o sucesso do Seis Sigma. A análise dos projetos realizados, assim como os resultados obtidos (alcance aos objetivos dos projetos) permitem a conclusão de que o método aplicado nos treinamentos foi eficaz. O

emprego de recursos que facilitam a visualizam dos conceitos foi um ponto-chave para a eficácia dos treinamentos. Também foram identificadas áreas de melhoria nos treinamentos. É necessário incluir no programa dos treinamentos aspectos relacionados à gestão de equipes e de mudanças. É desejável que a carga de treinamento seja aproximada da carga proposta na literatura.

(iii) Modelo proposto: atividades e ferramentas aplicadas no DMAIC através do estudo aplicado

A seleção dos projetos é uma atividade fundamental no Seis Sigma. A seleção correta dos projetos deve considerar principalmente os aspectos de tema (assunto), escopo (tamanho) e alinhamento com a estratégia da organização. O projeto adequadamente selecionado deve motivar toda a estrutura que compõe o Seis Sigma (desde a direção até os participantes das equipes).

O mapeamento do processo baseado no diagrama de causa-e-efeito apresentou um enfoque prático e útil na identificação das variáveis (fatores) que afetam o processo. Essa técnica possibilita a organização do conhecimento disponível na empresa.

A matriz de priorização provou a sua eficácia, possibilitando a rápida focalização na identificação das variáveis do processo. Essa ferramenta também viabiliza a participação dos especialistas em processos e produto, organizando o conhecimento disponível na organização. A matriz de priorização mostrou-se uma alternativa eficaz em relação a ferramentas mais complexas sob o ponto de vista do usuário, tais como, análise de variância e estudo de correlação e regressão. Essas técnicas estatísticas podem ser aplicadas em caso de alguma dúvida maior com relação à influência de alguma variável.

Verificou-se uma polarização no uso das técnicas de Taguchi em relação aos métodos de experimentação clássica, apesar de estar disponível *software* específico para facilitar a aplicação dos métodos clássicos. Os métodos de experimentação de Taguchi comprovaram a sua eficácia, tendo em vista as características dos processos estudados, onde os efeitos dos fatores principais predominam sobre eventuais interações.

Em geral, não foi necessária a utilização de métodos mais difíceis sob o ponto de vista do usuário, tais como, teste de hipóteses e análise de variância. Ferramentas mais simples foram aplicadas com sucesso em diversos projetos. Destacam-se nessas técnicas, o mapeamento de processos, a matriz de priorização e os métodos de Taguchi. Essa abordagem simplificada pode viabilizar a utilização do Seis Sigma em organizações de menor porte. O aspecto-chave para a aplicação das ferramentas é a lógica usada para a solução dos problemas. Para cada atividade, estão disponíveis diversas ferramentas. Um especialista adequadamente treinado possui a condição de selecionar a técnica mais apropriada, otimizando a aplicação dos recursos.

(iv) Modelo proposto: o Seis Sigma analisado em conjunto

Os objetivos econômicos foram alcançados em 79% dos projetos. Demais objetivos foram atingidos em 84% dos projetos. Os ganhos obtidos com a metodologia proposta dificilmente seriam alcançados através dos métodos anteriormente utilizados pela organização.

A metodologia proposta definiu claramente como devem ser executados os projetos de melhoria. A abordagem proposta incluiu a padronização da documentação e previu a integração de ferramentas estatísticas e não-estatísticas em uma seqüência lógica. A metodologia adotada incluiu uma abordagem singular através da utilização do mapa de

raciocínio junto com um fluxograma que apresenta a integração planejada das ferramentas para o projeto. Inicialmente é elaborado o fluxograma. Na seqüência, é iniciado o mapa de raciocínio, que atualiza e define com mais precisão o caminho a ser percorrido. Não foi encontrada na pesquisa bibliográfica referência anterior da utilização desse tipo de abordagem.

A manutenção do conhecimento da organização ficou facilitada pelo tipo de documentação utilizada. O mapa de raciocínio destaca-se nesse papel, descrevendo a história do projeto. Essa documentação funciona como uma base de informações, que facilita a consulta às informações, auxiliando no desenvolvimento de novos projetos.

Não foram identificadas desvantagens na aplicação do Seis Sigma.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O Seis Sigma é um método em evolução. A seguir, são apresentadas algumas recomendações de trabalhos futuros:

- (i) Adaptar a metodologia proposta para aplicação em empresas de menor porte;
- (ii) Desenvolver metodologia específica e/ou adaptar a mesma para processos administrativos;
- (iii) Desenvolver e/ou adaptar metodologia para aplicação do Seis Sigma associado ao desenvolvimento de produto (projeto para Seis Sigma);
- (iv) Desenvolver e/ou adaptar metodologia para aplicação do Seis Sigma associado às técnicas *lean* (produção enxuta).

REFERÊNCIAS

AGUIAR, S. Integração das ferramentas da qualidade ao PDCA a ao programa Seis Sigma. Belo Horizonte: Editora DG, v.1, 2002.

ALLEN, D. R.; RAO, T. R. *Analysis of customer satisfaction data*. Milwaukee: Quality Press, 2000.

ALLEN, D. R.; WILBURN, M. *Linking customer satisfaction and employee satisfaction to the bottom line*. Milwaukee: Quality Press, 2002.

AMERICAN SOCIETY FOR QUALITY (ASQ). *Quality 101: ASQ's foundations in quality self-directed learning series*. Milwaukee: ASQ, 2001.

AMERICAN SOCIETY FOR QUALITY (ASQ). *Six sigma black belt body of knowledge*. Disponível em: <<http://www.asq.org/cert/types/sixsigma/bok.html>> Acesso em: 27 abr. 2003.

ANDERSEN, E. W.; FORNELL, C. *The customer satisfaction index as a leading indicator. Chapter in the handbook of services marketing and management*. Dawn Iacobucci e Terri Swartz (eds.). New York: Sage, 1999.

ANDERSEN, E. W.; MITTAL, V. *Strengthening the satisfaction-profit chain*. **Journal of Service Research**. vol. 3(1), p. 107-120, Nov. 2000.

AUTOMOTIVE INDUSTRY ACTION GROUP (AIAG). Manual de referência de análise dos sistemas de medição (MSA). São Paulo: IQA, 1995.

AUTOMOTIVE INDUSTRY ACTION GROUP (AIAG). Manual de referência de fundamentos de controle estatístico do processo (CEP). São Paulo: IQA, 1997.

BARNEY, M. *Motorola's second generation. Six Sigma Forum Magazine*. Milwaukee, v.1, n. 3, p.13-16, may 2002.

BHOTE, K. R. *Qualidade de classe mundial: usando projetos de experimentos para melhoria*. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1992.

BHOTE, K. R.; BHOTE, A. B. *World class quality: using design of experiments to make it happen*. New York: Amacon, 2000.

BLAKESLEE, J. A. *Implementing the six sigma solution; how to achieve quantum leaps in quality and competitiveness. Quality Progress*. Milwaukee, vol. 29, p. 77-85, july, 1999.

BOER, R. V. *Apresentação sobre a situação dos projetos seis sigma*. Gravataí, 2003.

BOX, G. E. P.; LIU, P. Y. T. *Statistics as a catalyst to learning by scientific method part 1 – an example. Journal of Quality Technology*. Milwaukee, vol. 31 (1), p. 1-15, Jan. 1999.

BOX, G. E. P.; HUNTER, W. G.; HUNTER, J. S. *Statistics for experimenters: an introduction to design, data analysis, and model building*. New York: John Wiley, 1978.

BREYFOGLE III, F. W., *Implementing six sigma: smarter solutions using statistical methods*. New York: John Wiley, 1999.

BREYFOGLE III, F. W.; CUPELLO, J. M.; MEADOWS, B. *Managing Six Sigma: a practical guide to understanding, assessing, and implementing the strategy that yields bottom-line success*. New York: John Wiley, 2001.

BRITZ, G. C.; EMERLING, D. W.; HARE, L. B.; HOERL, R. W.; JANIS, S. J.; SHADE, J. E. *Improving performance through statistical thinking*. Milwaukee: Quality Press, 2000.

CAMPANELLA, J. *Principles of quality costs: principles: implementation and use*. Milwaukee: Quality Press, 1990.

COSTA, S. F. *Método científico, os caminhos da investigação*. 1 ed. São Paulo: Harbra, 2001.

DEMING, W. E. *Out of the crisis*. 1 ed. Cambridge: MIT/CAES, 1986.

- DEMING, W. E. *The new economics for industry, government and education*. 2 ed. Cambridge: MIT/CAES, 1994.
- DOES, R.; HEUVEL, E.; MAST, J.; BISGAARD, S. *Comparing non-manufacturing with traditional applications of six sigma*. **Quality Engineering**. New York, vol. 15(1), p. 177-182, 2002.
- ECKES, G. *A revolução seis sigma: o método que levou a GE e outras empresas a transformar processos em lucro*. Rio de Janeiro: Campus, 2001.
- FULLER, H. T. *Observations about the success and evolution of six sigma at Seagate*. **Quality Engineering**. New York, vol. 12(3), p. 311-315, 2000.
- GEORGE, M. L. *Lean six sigma: combining six sigma quality with lean speed*. New York: McGraw-Hill, 2002.
- GIL, A. C. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- GOH, T. N. *The role of statistical design of experiments in Six Sigma: perspectives of a practitioner*. **Quality Engineering**. New York, vol. 14(4), p. 659-671, 2002.
- GOLDSTEIN, M. *Six sigma program success factors*. **Six Sigma Forum Magazine**. Milwaukee, vol. 1(1), p. 36-45, nov. 2001.
- GRYNA, F. *Market research and marketing. Chapter 18 in the Juran's quality handbook*. JURAN, J.; GODFREY, A. (eds) New York: McGrawHill, 1999.
- HAHN, G. J.; DOGANAKSOY, N.; HOERL, R. *The evolution of six sigma*. **Quality Engineering**. New York: vol. 12(3), p. 317-326, 2000.
- HAHN, G. J. *20 key lessons learned*. **Six Sigma Forum Magazine**. Milwaukee, vol. 1(1), p. 36-45, nov. 2001.
- HARRY, M.; SCHROEDER, R. *Six sigma, the breakthrough management strategy revolutionizing the world's top corporation*. 1 ed. New York: Currency, 2000.

HAYES, B. *Measuring customer satisfaction: survey design, use, and statistical analysis methods*. 2 ed. Milwaukee: Quality Press, 1998.

HILD, C.; SANDERS, D.; ROSS, B. *The thought map*. **Quality Engineering**. New York, vol. 12 (1), p. 21-27, Jan. 1999.

HOERL, R. W. *Six sigma black belts: what they need to know?* **Journal of Quality Technology**. Milwaukee, vol. 33(4), p. 391-406, Oct. 2001.

HOYER, R. W.; HOYER, B. B. Y. *What is quality?* **Quality Progress**. Milwaukee, vol. 31 (07), p.53-62, Jul. 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DO PETRÓLEO (IBP). COMISSÃO DE GARANTIA DA QUALIDADE. *Conceitos básicos: guias para garantia da qualidade*. Cap. 2. Rio de Janeiro. 1987.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. NBR ISO 9000: sistemas de gestão da qualidade – fundamentos e vocabulário. ABNT, 2000.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. NBR ISO 9001: sistemas de gestão da qualidade – requisitos. ABNT, 2000.

ISHIKAWA, K. *Guide to quality control*. Tokio: Asian Productivity Organization, 1983.

ISHIKAWA, K. *Controle de qualidade total à maneira japonesa*. Rio de Janeiro: Campus, 1993.

JABLONSKI, J. R. *Implementing TQM: competing in the nineties through total quality management*. Albuquerque: Technical Management Consortium, 1992.

JURAN, J. M. *A history of managing for quality – the evolution, trends and future directions of managing for quality*. 1 ed. Milwaukee: Quality Press, 1995.

JURAN, J. M. *Juran's quality control handbook*. 4ed. New York: MacGraw Hill, 1988.

JURAN, J. M. *Juran quality handbook*. 5ed. New York: MacGraw Hill, 1999.

JURAN, J. M. *Juran na liderança pela qualidade*. São Paulo: Pioneira, 1990.

KOTLER, P. Administração de marketing - análise, planejamento, implementação e controle. 5 ed. São Paulo: Atlas, 1998.

KOTTER, J. P. Liderando a mudança. Campus: Rio de Janeiro, 1997.

LAMPRECHT, J. L. ISO 9000: *Implementation for small business*. 1 ed. Milwaukee: Quality Press, 1996.

LESSA, E. Dados e documentos sobre projeto seis sigma em capacitores banhados. Gravataí, 2003.

LEVITT, T. A imaginação de marketing. 2 ed. São Paulo: Atlas, 1990.

LUCAS, J. M. *The essential six sigma: how successful six sigma implementation can improve the bottom line*. **Quality Progress**. Milwaukee, vol. 32 (01), p.27-31, Jan. 2002.

MAGUIRE, M. *Cowboy quality*. **Quality Progress**. Milwaukee, v.29, n. 1, p.27-34, oct. 1999.

MINTZBERG, H.; AHLSTRAND, B.; LAMPEL, J. Safári de estratégia: um roteiro pela selva do planejamento estratégico. 1 ed. Porto Alegre: Bookman, 2000.

MONTGOMERY, D. *Design and analysis of experiments*. New York: Wiley, 2001.

NAUMANN, E.; HOISINGTON, S. H. *Customer centered six sigma, linking customers, process improvements and financial results*. 1 ed. Milwaukee: Quality Press, 2001.

NEUSCHLER-FRITSCH, D.; NORRIS, R. *Capturing financial benefits from six sigma: five lessons learned will resonate with top management*. **Quality Progress**. Milwaukee, vol. 34(05), p. 39-44, May, 2001.

OKES, D.; WESTCOTT, R. *The certified quality manager handbook*. Milwaukee: Quality Press, 2001.

PANDE P. S.; NEUMANN, R. P.; CAVANAGH, R. R. Estratégia seis sigma: como a GE, Motorola e outras grandes empresas estão aguçando seu desempenho. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

PEACE, G. S. *Taguchi methods: a hands-on approach to quality engineering*. New York: Addison-Wesley, 1993.

PEARSON T. A. *Measure for six sigma success: combining measurement science with six sigma builds organization wisdom, big business advantages*. **Quality Progress**. Milwaukee, vol. 34(02), p.40, Feb., 2001.

PEREZ-WILSON, M. *Seis Sigma: compreendendo o conceito, as implicações e os desafios*. 1 ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1998.

RASIS, D.; GITLOW, H. S.; POPOVICH, E. *Papers organizers international: a fictitious six sigma green belt case study. I*. **Quality Engineering**. New York, vol. 14(1), p. 127-145, 2002.

ROCHA, A.; CHRISTENSEN, C. *Marketing, teoria e prática no Brasil*. 2 ed. São Paulo: Atlas, 1999.

ROSS, P. J. *Aplicações das técnicas Taguchi na engenharia da qualidade*. Rio de Janeiro: Makron Books, 1991.

SANDERS, D.; ROSS, B.; COLEMAN, J. *The process map*. **Quality Engineering**. New York, vol. 11 (4), p. 556-561, 1999.

SANDERS, D.; HILD, C. A. *A discussion of strategies for six sigma implementation*. **Quality Engineering**. New York, vol. 12 (3), p. 303-309, 2000.

SANDHOLM, L.; SORSVIST, L. *12 requirements for six sigma success*. **Six Sigma Forum Magazine**. Milwaukee, vol. 2(1), p. 17-22, nov. 2002.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. *Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação*. Florianópolis: UFSC/PPGEP/LED, 2000.

SLATER, R. *Integrated process management: a quality model*. New York: McGraw-hill, 1991.

SMITH, L. R. *Are your champions doing a good job?* **Six Sigma Forum Magazine**. Milwaukee, v.1, n. 4, p.38-43, Aug. 2002.

SNEE, R. D. *Guest editorial: impact of six sigma on quality engineering. **Quality Engineering***. New York, vol. 12, p. ix-xiv, 2000.

TAGUCHI, G. *Introduction to quality engineering: designing quality into products and processes*. Tokio: Asian Productivity Organization, 1986.

TAY, K.; BUTLER, C. *Methodologies for experimental design: a survey, comparison, and future predictions. **Quality Engineering***. New York, vol. 11 (3), p. 343-356, 1999.

THIOLLENT, M. *Metodologia da pesquisa-ação*. 11 ed. São Paulo: Cortez, 2002.

TREISCHLER, D.; CARMICHAEL, R.; KUSMANOFF, A.; LEWIS, J.; BERTHIEZ, G. *Design for six sigma: 15 lessons learned: leading corporations find out how to avoid pitfalls. **Quality Progress***. Milwaukee, vol. 35(01), p.33-42, Jan., 2002.

WATSON, G. H. *Cycles of learning: observations of Jack Welch. **Six Sigma Forum Magazine***. Milwaukee, v.1, n. 1, p.13-18, nov. 2001.

WELCH JR., J. F.; IMMELT, J. R.; DAMMERMAN, D.; WRIGHT, R. C. *General electric, to our customers, share owners and employees. **Six Sigma Forum Magazine***. Milwaukee, v.1, n. 1, p.56, nov. 2001.

WERKEMA, C. *Criando a cultura seis sigma*. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

YUN, J.; CHUA, R. C. H. *Samsung uses six sigma to change its image. **Six Sigma Forum Magazine***. Milwaukee, v.2, n. 1, p.13-16, nov. 2002.

ZIGMUND, W. *Business research methods*. 4 ed. Fort Worth: Dryden Press, 1994.