

WILLIAM HABIB LUCAS CHAHADE

**APLICAÇÃO DA METODOLOGIA SEIS SIGMA PARA INCREMENTO DA
PRODUTIVIDADE NO ENVASE DE TINTAS DECORATIVAS**

SÃO CAETANO DO SUL/SP

2009

WILLIAM HABIB LUCAS CHAHADE

**APLICAÇÃO DA METODOLOGIA SEIS SIGMA PARA INCREMENTO DA
PRODUTIVIDADE NO ENVASE DE TINTAS DECORATIVAS**

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia Mauá
do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia
para obtenção do título de Mestre em Engenharia de
Processos Químicos e Bioquímicos.

Linha de Pesquisa: Análise e Controle de Processos
Químicos

Orientador: Prof. Dr. Flávio D`Angelo Pereira da Silva

SÃO CAETANO DO SUL/SP

2009

CHAHADE, William Habib Lucas

Aplicação da metodologia Seis Sigma para incremento da produtividade no envase de tintas decorativas / William Habib Lucas Chahade. – um estudo de experimento sobre a aplicação da metodologia seis sigma para incremento da produtividade do envase de tintas decorativas. São Caetano do Sul, 2009. 158 p.

Dissertação de Mestrado — Programa de Pós-Graduação. Linha de Pesquisa: Análise e Controle de Processos Químicos — Escola de Engenharia Mauá do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia. São Caetano do Sul, SP, 2009.

Orientador: Flávio D'Angelo Pereira da Silva

1. Metodologia Seis Sigma 2. Envase 3. DMAIC 4. Melhoria contínua I. Instituto Mauá de Tecnologia. Centro Universitário. Escola de Engenharia Mauá. II. Título.

WILLIAM HABIB LUCAS CHAHADE

**APLICAÇÃO DA METODOLOGIA SEIS SIGMA PARA INCREMENTO DA
PRODUTIVIDADE NO ENVASE DE TINTAS DECORATIVAS**

Dissertação de Mestrado apresentada para obtenção
do título de Mestre em Engenharia de Processos
Químicos e Bioquímicos pela Escola de Engenharia
Mauá do Centro Universitário do Instituto Mauá de
Tecnologia.

Área de concentração:
Engenharia da Qualidade

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Flávio D`Angelo Pereira da Silva
Orientador
Escola de Engenharia Mauá

Prof. Dr. Antonio Dantas Cabral
Escola de Engenharia Mauá

Prof. Dr. Antônio Henriques de Araujo
UERJ/UNIFOA

São Caetano do Sul, 29 de junho de 2009.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha linda esposa e conselheira Fátima e aos nossos belos filhos Murillo e Letícia, pelo infinito tempo que a mim despenderam e pela incansável paciência concedida em troca de muitos momentos de lazer. Aos meus pais, em especial a minha guerreira mãe Dalva, ofereço este presente que sem dúvida foi fruto do seu esforço por nós filhos, Marcelo, Érica e Junior.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha esposa Fátima, pois, sem o seu apoio dificilmente alcançaria esta meta que sem dúvida foi partilhada entre nós.

Agradeço a Letícia e ao Murillo, filhos lindos e maravilhosos que temos e que tanto nos orgulhamos.

Agradeço a BASF S/A que me concedeu liberdade para expor por meio deste trabalho a aplicação do Seis Sigma num processo de melhoria do envase.

Agradeço às pessoas que direta ou indiretamente serviram como base de conhecimento para desenvolvimento deste trabalho, em especial ao meu orientador Professor Dr. Flávio D'Angelo Pereira da Silva.

Aos professores do Mestrado em especial ao Dr. Antônio Dantas Cabral e a secretaria da Pós-Graduação da Escola de Engenharia Mauá em especial à Margareth, no sentido de tornar nosso aprendizado o mais eficiente o possível.

Ao conselheiro e amigo Manuel Bonifácio dos Santos pelas orientações de vida, e pela confiança a mim conferida.

Às funcionárias da biblioteca da Mauá, em especial a Dulce, também agradeço profundamente pela atenção concedida na orientação da busca de informações.

Agradeço a DEUS por mais esta conquista alcançada.

EPÍGRAFE

“A vida não é medida pelo número de vezes que respiramos, mas pelos lugares e momentos capazes de tirar nosso fôlego.”

Autor: Desconhecido

Assim...

“O grande engano é supor que o Seis Sigma trate de controle de qualidade e de fórmulas estatísticas.... Ele impulsiona a melhoria da liderança...”

Autor: Jack Welch

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo utilizar a metodologia Seis Sigma para o aumento da produtividade do envase de tintas decorativas à base de solvente. Focou-se o estudo na máquina de envase denominada Devree II, cuja produtividade não atendia a demanda no ano de 2007, devendo esta aumentar em 20%. Utilizou-se a metodologia Seis Sigmas e respectivas ferramentas estatísticas que acompanham as fases DMAIC para definição, mensuração, análise, melhoria e controle das ações de melhoria a fim de se obter resultados sustentáveis. O escopo do experimento situou-se entre o processo de alimentação de embalagens vazias e a expedição das mesmas, focando-se principalmente o processo de operação e preparação do equipamento para o envase. O experimento desenvolveu-se a partir da formação da equipe multifuncional denominada *Team Members* onde se determinaram as possíveis variáveis com correlações significativas para o decréscimo da produtividade, inferindo a elas, hipóteses de causas e conseqüentemente testes para respectivas melhorias. O estudo a partir da metodologia comprovou as deficiências com impacto negativo na produtividade e conduziu às ações de melhoria sustentáveis, validando a aplicação da mesma para o experimento estudado. Concluiu-se por este trabalho, que a metodologia Seis Sigma foi eficaz no processo de identificação de causas e respectivas ações de melhoria para o acréscimo da produtividade do envase de tintas decorativas a base de solvente. O estudo proporcionou soluções simples e criativas com o auxílio da análise estatística, promovendo melhorias para os problemas identificados e seus respectivos controles que as mantêm sustentáveis. Finalizou-se o trabalho, com as comprovações estatísticas sobre melhorias alcançadas, e respectivas propostas de continuidade deste à luz de outras hipóteses comentadas.

Palavras-chave: Metodologia Seis Sigma. Envase. DMAIC. Melhoria Contínua.

ABSTRACT

The aim of this study was to use the Six Sigma methodology to improve the productivity for the filling of solvent based paint. The study focuses on the performance of the filling machine known as Devree II, whose production was not capable of dealing with the requirements for the year 2007, which should have increased by 20%. The Six Sigma methodology and respective statistical tools which accompany the DMAIC phases to define, measure, analyze, improve and control activities in order to obtain sustainable results were utilized. The scope of the experiment covered from the feed in of the empty cans to the dispatch of the finished product, concentrating principally on the operational process and the Set-ups of the filling machine. The experiment began with the formation of a multi-functional team referred to as Team Members who determined the possible variables with significant correlations for the decrease in production. From these, hypotheses for the causes of production decrease and consequently tests for respective improvements were defined. The study corroborated the negative impact on productivity and guided the sustainable corrective actions taken, thereby validating the application of the methodology for this study. It can be concluded from this study that the Six Sigma methodology was effective in identifying the faults and the respective actions required for improving the productivity of the filling process for solvent based paints. The study, with the aid of statistical analysis, provided simple creative solutions thereby resulting in improvements for the problems identified and for the controls which maintain them sustainable. The study concludes with the statistical results regarding the achieved improvements and the proposals of further studies in light of other hypotheses mentioned.

Key-words: Six-Sigma methodology. Filling process. DMAIC. Ongoing improvement.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	NÍVEL SIGMA	25
FIGURA 2	LINHA DO TEMPO PARA SURGIMENTO DO SEIS SIGMA	30
FIGURA 3	FLUXOGRAMA PARA DETERMINAÇÃO DO NÍVEL SIGMA DO PROCESSO	33
FIGURA 4	PLANILHA PARA CÁLCULO NO NÍVEL SIGMA	34
FIGURA 5	MODELO DE DISTRIBUIÇÃO NORMAL	37
FIGURA 6	FASE DE APRENDIZADO DO SEIS SIGMA	38
FIGURA 7	PARTICIPAÇÃO DAS FASES DMAIC NO PROCESSO DE IMPLEMENTAÇÃO DO SEIS SIGMA	39
FIGURA 8	EXEMPLO DE MAPA DE RACIOCÍNIO COM INTERAÇÃO ÀS FASES DO DMAIC.	48
FIGURA 9	GRÁFICOS SEQUENCIAIS	50
FIGURA 10	MUDANÇA BRUSCA DE NÍVEL	50
FIGURA 11	VARIAÇÃO PERIÓDICA DE CICLOS	50
FIGURA 12	ALTERAÇÃO BRUSCA DE AMPLITUDE	51
FIGURA 13	ALTERAÇÃO GRADUAL NA AMPLITUDE DE VERIFICAÇÃO	51
FIGURA 14	PRESENÇA DE PONTOS ISOLADOS	52
FIGURA 15	PLANO DE CONTROLE	52
FIGURA 16	GRÁFICO TEMPORAL	54
FIGURA 17	AVALIAÇÃO PARA SISTEMAS DE MEDIÇÃO	60
FIGURA 18	GRÁFICO DE PARETO	63
FIGURA 19	GRÁFICO SEQUENCIAL	64
FIGURA 20	HISTOGRAMA SIMÉTRICO OU NORMAL	65
FIGURA 21	HISTOGRAMA ASSIMÉTRICO E COM UM PICO	65
FIGURA 22	HISTOGRAMA TIPO “DECLIVE”	66
FIGURA 23	HISTOGRAMA COM MAIS DE UM PICO	66
FIGURA 24	HISTOGRAMA DO TIPO “PRATO”	67
FIGURA 25	HISTOGRAMA COM ISOLAMENTOS	68
FIGURA 26	<i>BOXPLOT</i> OU GRÁFICO DE CAIXA	68
FIGURA 27	ANÁLISE MULTI-VARI	70
FIGURA 28	SÍMBOLOS USUAIS DO MAPEAMENTO DO PROCESSO	71
FIGURA 29	EFEITO NA VISCOSIDADE CAUSADO PELA ACIDEZ	75
FIGURA 30	ESTRUTURA DE GRÁFICO DE CONTROLE	76
FIGURA 31	PROCESSO +/- 3 SIGMA	78
FIGURA 32	PROCESSO +/- 6 SIGMA	78
FIGURA 33	PROCESSO NÃO CAPAZ E DESLOCADO PARA DIREITA	79

FIGURA 34	PROCESSO CAPAZ E CENTRADO	79
FIGURA 35	MATRIZ DE PRIORIZAÇÃO NA FÁBRICA DE TINTAS	81
FIGURA 36	SEQÜÊNCIA LÓGICA PARA DEFINIÇÃO DO TESTE DE HIPÓTESE	83
FIGURA 37	PRODUTIVIDADE LOCAL, GLOBAL E ISOLADA	90
FIGURA 38	FLUXO TÍPICO DE UM PROCESSO INDUSTRIAL DE TINTAS DECORATIVAS	103
FIGURA 39	ESQUEMA DE ENVASE DE TINTAS E RESPECTIVAS INTERFACES	106
FIGURA 40	MÉDIA DE ENVASE ANTES DA MELHORIA	108
FIGURA 41	PLANILHA DE PREENCHIMENTO DOS DADOS DE ENVASE	117
FIGURA 42	TESTE DE NORMALIDADE PARA OS VOLUMES ENVASADOS	118
FIGURA 43	HISTOGRAMA DOS VOLUMES ENVASADOS	119
FIGURA 44	GRÁFICO DE CAIXA PARA OS VALORES DE ENVASE	120
FIGURA 45	<i>BOXPLOT</i> PARA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA VISCOSIDADE	122
FIGURA 46	ANÁLISE DE VARIÂNCIA ENTRE OPERADORES EM RELAÇÃO AO VOLUME ENVASADO	123
FIGURA 47	ANÁLISE GRÁFICA DAS DIFERENTES VISCOSIDADES DAS TINTAS ENVASADAS	123
FIGURA 48	PARETO PARA OS DIFERENTES TIPOS DE <i>SET-UPS</i>	125
FIGURA 49	BICOS DE ENVASE E SUAS DIFERENÇAS	127
FIGURA 50	TESTE DE NORMALIDADE DOS DADOS DE ENVASE ANTES DA MELHORIA	128
FIGURA 51	TESTE DE NORMALIDADE DOS DADOS DE ENVASE DEPOIS DA MELHORIA	129
FIGURA 52	VALUE PLOT PARA MÉDIAS DE ENVASE BICO ANTIGO E NOVO	129
FIGURA 53	ESQUEMA DE TRANSFERÊNCIA DE TINTA	130
FIGURA 54	SÉRIE TEMPORAL PARA INSTALAÇÃO DE FILTRO	131
FIGURA 55	ANÁLISE DE REGRESSÃO PARA DIMINUIÇÃO DO TEMPO DE LAVAGEM DA CUBA	132
FIGURA 56	TESTE DE HIPÓTESE REFERENTE AO ATENDIMENTO DAS CORES	134
FIGURA 57	ANÁLISE <i>BOXPLOT</i> DOS VOLUMES ENVASADOS ANTES DOS TREINAMENTOS	135
FIGURA 58	ANÁLISE <i>BOXPLOT</i> DOS VOLUMES ENVASADOS DEPOIS DOS TREINAMENTOS	135
FIGURA 59	CRONOGRAMA DE FECHAMENTO DO PROJETO	142
FIGURA 60	ANÁLISE SÉRIE TEMPORAL REFERENTE À MELHORIA DO ENVASE	144
FIGURA 61	HIPÓTESE PARA VARIÂNCIA DOS DADOS AMOSTRAIS ANTES E DEPOIS DAS MELHORIAS	145
FIGURA 62	<i>BOXPLOT</i> DA PRODUTIVIDADE ALCANÇADA ANTES E DEPOIS DAS MELHORIAS	146
FIGURA 63	POLÍTICA INTEGRADA DA BASF	156
FIGURA 64	VISÃO DA BASF 2015	157

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	EXEMPLO DE DADOS QUANTITATIVOS CONTÍNUOS E DISCRETOS	32
TABELA 2	DPO E DPMO	32
TABELA 3	CORRELAÇÃO ENTRE CP, DPMO, DPO E O NÍVEL SIGMA	33
TABELA 4	MODELO DE CHARTER DO PROJETO SEIS SIGMA	49
TABELA 5	TRADUÇÃO DA VOZ DO CLIENTE EM REQUISITOS	54
TABELA 6	EXEMPLO DE PLANILHA SIPOC	55
TABELA 7	EXEMPLO DE PLANO PARA COLETA DE DADOS	62
TABELA 8	EXEMPLO DE PLANILHA DE FMEA	72
TABELA 9	TABELA DE SEVERIDADE	72
TABELA 10	TABELA DE OCORRÊNCIA	73
TABELA 11	TABELA DE DETECÇÃO	74
TABELA 12	EXEMPLO DE DIAGRAMA DE CAUSA E EFEITO	81
TABELA 13	EXEMPLO DE PLANILHA 5W2H	86
TABELA 14	FASES DO DMAIC E PRINCIPAIS FERRAMENTAS	87
TABELA 15	EXEMPLO DE VARIAÇÃO DA TAXA DE PRODUTIVIDADE	91
TABELA 16	FONTE DE DOS POR ATIVIDADE	98
TABELA 17	CARACTERÍSTICAS DAS TINTAS DECORATIVAS À BASE DE SOLVENTE	105
TABELA 18	PRODUTIVIDADE NOMINAL E REAL DA MÁQUINA DE ENVASE DEVREE II	107
TABELA 19	FUNÇÕES DO <i>TEAM MEMBERS</i> NO EXPERIMENTO	109
TABELA 20	CRONOGRAMA DO PROJETO	110
TABELA 21	CHARTER DO PROJETO	112
TABELA 22	TABELA SIPOC	113
TABELA 23	TABELA QUAD SEIS SIGMA	114
TABELA 24	TRADUÇÃO DA VOZ DO CLIENTE EM REQUISITOS DO CLIENTE	114
TABELA 25	TABELA RACI	115
TABELA 26	MATRIZ CAUSA E EFEITO	116
TABELA 27	ANÁLISE DE RISCO PARA IMPLEMENTAÇÃO DE MELHORIAS	121
TABELA 28	CONTROLE DE USO DOS BICOS DE ENVASE POR TIPO DE TINTA	136
TABELA 29	CONTROLE DA TROCA DOS FILTROS DA CUBA	137
TABELA 30	CONTROLE DO TEMPO DE LAVAGEM DA CUBA	137

TABELA 31	CONTROLE DO NÚMERO DE <i>SET-UPS</i> REALIZADOS POR	138
	TURNOS/DIA	
TABELA 32	PLANO DE TREINAMENTO PARA OPERAÇÃO DA DEVREE II	139
TABELA 33	MÉTRICAS DO EXPERIMENTO ANTES E DEPOIS DAS	141
	MELHORIAS	

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1	TENDÊNCIA	56
GRÁFICO 2	ESTABILIDADE	57
GRÁFICO 3	LINEARIDADE	58
GRÁFICO 4	REPETIBILIDADE	58
GRÁFICO 5	REPRODUTIBILIDADE	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CEP – Controle Estatístico de Processo

Cp – Índice de Capabilidade Potencial de um Processo

Cpk – Índice de Capabilidade Nominal de um Processo

CTQ – Crítical to Quality

DMAIC – Define, Measurement, Analyse, Improve, Control

DPMO – Defects per Million Opportunities

EUA – Estados Unidos da América

FMEA – Failure Mode and Effect Analysis

IHM – Interface Homem Máquina

ISO – Internacional Organization for Standardization

LIE – Limite Inferior de Especificação (em inglês, LSL – Lower Specification Limit)

LSE – Limite Superior de Especificação (em inglês, USL – Up Specification Limit)

MSA – Measurement Systems Analysis

PDCA – Plan, Do, Check, Action

PPM – Partes por Milhão

RPN – Risk Priorit Number

SIPOC – Supplier, Input, Process, Out, Customer

VOC – Voice of Customer

LISTA DE TERMOS EM INGLÊS

ANALYZE – Analisar

BLACK BELT – Faixa Preta

BRAINSTORMING – Tempestade de Idéias

CHAMPION – Patrocinador

COACH – Treinador

CONTROL – Controlar

CONTROLLER – Controlador

DEFINE – Definir

GREEN BELT – Faixa verde

HELP DESK – Suporte e resolução de problemas técnicos em informática

IMPROVE – Aprimorar

JUST IN TIME – No tempo justo

LEADERSHIP – No contexto, liderança com responsabilidade pela divulgação do Seis Sigma.

LEAN MANUFACTURING – Manufatura enxuta

MASTER BLACK BELT – Mestre faixa preta

MEASURE – Medir

MIX – Mistura

QUICK WINS – Ganhos rápidos

OUTLIERS – Ponto fora

SET-UPS – Ajustes de processo

SPONSOR – No contexto, liderança com responsabilidade de orientação dos projetos.

SPRAY BALL– Jato circular

TEAM MEMBERS – Equipe multifuncional de colaboradores com responsabilidade de aplicar a metodologia Seis Sigma para resolução de problemas

VOICE OF THE CUSTOMER – Voz do Cliente

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	19
1.1	OBJETIVOS	19
1.2	QUESTÃO DA PESQUISA	20
1.3	JUSTIFICATIVA	20
1.4	CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO	22
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO	22
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	24
2.1	DEFINIÇÃO DO SEIS SIGMA	24
2.2	SURGIMENTO E APLICAÇÃO DO SEIS SIGMA	28
2.2.1	Surgimento do Seis Sigma	28
2.2.2	Influência das Atividades Industriais na Qualidade	28
2.2.3	Outros Fatores Importantes na Mudança da Percepção da Qualidade	29
2.2.4	Importância do Conceito de Deming para o Seis Sigma	30
2.2.5	Cálculo do Nível Sigma	31
2.2.5.1	Planilha para Cálculo do Nível Sigma	34
2.2.6	Fórmula para Cálculo do Nível Sigma	35
2.2.7	Fórmula para Cálculo do Desvio Padrão Amostral	35
2.2.8	Fórmula para Cálculo da Variância Amostral	36
2.2.9	Fórmula para Cálculo da Distribuição Normal	36
2.3	CONCEITOS SOBRE O DESENVOLVIMENTO DA METODOLOGIA	36
2.3.1	Capacitação para a Metodologia Seis Sigma	36
2.3.2	Implementação da Metodologia Seis Sigma	39
2.3.3	Funções e Responsabilidades da Metodologia Seis Sigma	40
2.4	FASES E FERRAMENTAS DA METODOLOGIA SEIS SIGMA	41
2.4.1	Introdução	41
2.5	FASES DO DMAIC	44
2.5.1	Fase Definir	44
2.5.2	Fase Medir	45
2.5.3	Fase Analisar	45
2.5.4	Fase Aprimorar	45
2.5.5	Fase Controlar	46
2.6	PRINCIPAIS FERRAMENTAS DAS FASES DMAIC	46
2.6.1	Mapa de Raciocínio e Charter do Projeto	47
2.6.2	Charter do Projeto	47
2.6.3	Gráfico Seqüencial	49

2.6.4	Plano de Controle	52
2.6.5	Análise de Séries Temporais	53
2.6.6	VOC – <i>Voice of Customer</i>	53
2.6.7	SIPOC – <i>Suppliers, Inputs, Process, Outputs e Customers</i>	54
2.6.8	MSA – <i>Measurement Systems Analysis</i>	55
2.6.9	Plano para Coleta de Dados	61
2.6.10	Diagrama de Pareto	63
2.6.11	Gráfico Seqüencial	63
2.6.12	Histograma	64
2.6.13	<i>Boxplot</i>	67
2.6.14	Análise Multivariada	69
2.6.15	Mapa do Processo	70
2.6.16	FMEA – <i>Failure Mode and Effect Analysis</i>	71
2.6.17	Diagramas de Dispersão	74
2.6.18	Controle Estatístico do Processo	75
2.6.19	Índice de Capabilidade	77
2.6.20	Diagrama de Causa e Efeito	80
2.6.21	Matriz de Priorização	81
2.6.22	Análise de Regressão	82
2.6.23	Teste de Hipóteses	82
2.6.24	Análise de Variância	84
2.6.25	DOE – <i>Design of Experiments</i>	84
2.6.26	5W2H	85
2.6.27	Poka-Yoke	86
2.7	PRINCIPAIS FERRAMENTAS DA QUALIDADE UTILIZADAS NO DMAIC	87
2.8	TESTE DE NORMALIDADE	88
2.9	CONCEITO SOBRE PRODUTIVIDADE	89
3.	METODOLOGIA DA PESQUISA	92
3.1	TIPOS DE PESQUISA	92
3.1.2	Métodos de Pesquisa	92
3.1.2.1	Pesquisa de Levantamento	92
3.1.2.2	Pesquisa Qualitativa	93
3.1.2.3	Pesquisa de Estudo de Caso	93
3.1.2.4	Pesquisa-Ação	93
3.1.2.5	Pesquisa Experimental	93
3.1.3	Método de Coleta de Dados	93

3.1.3.1	Questionários Auto-Administrados	93
3.1.3.2	Entrevista Estruturada	94
3.1.3.3	Entrevista Não Estruturada	94
3.1.3.4	Informações de Arquivo	94
3.1.3.5	Simulação	94
3.1.3.6	Observação Estruturada	94
3.1.3.7	Observação como Participante	95
3.1.4	Aplicação da Pesquisa Experimental	95
3.2	VARIÁVEIS DA QUESTÃO DA PESQUISA	96
3.3	HIPÓTESE	97
3.4	FONTES DE DADOS	97
3.4.1	Fontes de Dados Primários	97
3.4.2	Fontes de Dados Secundários	98
3.5	POPULAÇÃO, TAMANHO DA AMOSTRA E AMOSTRAGEM	99
3.6	PROCEDIMENTO DE COLETA DE DADOS	100
3.7	ANÁLISE DE DADOS	100
4.	EXPERIMENTAÇÃO	101
4.1	APRESENTAÇÃO DA EMPRESA	101
4.2	DEFINIÇÃO DA FÁBRICA	101
4.2.1	Definição do Processo de Produção	102
4.3	DEFINIÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS	104
4.4	DEFINIÇÃO DO PRODUTO	105
4.5	FASE DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	106
4.5.1	Formação do <i>Team Members</i>	109
4.5.2	Cronograma da Implementação do Seis Sigma	110
4.5.3	<i>Charter</i> do Projeto	111
4.5.4	SIPOC do Projeto	111
4.5.5	Tabela Quad	113
4.5.6	VOC – Voice of Customer	114
4.5.7	Tabela RACI	115
4.6	FASE MEDIÇÃO DOS DADOS COLETADOS	115
4.6.1	Matriz de Causa e Efeito	116
4.6.2	Plano para Coleta de Dados	117
4.7	FASE ANÁLISE DO PROBLEMA	118
4.7.1	Histograma do Envase	118
4.7.2	<i>Boxplot</i> dos Volumes de Envase	119

4.7.3	Análise de Risco	120
4.7.4	Análise de Variância da Viscosidade das Tintas	122
4.7.5	Diferenças no Envase entre Operadores	123
4.7.6	Grupos de Viscosidade	124
4.7.7	Tipos de <i>Set-ups</i>	125
4.7.8	Grade de Cores e <i>Set-up</i>	125
4.8	FASE IMPLEMENTAÇÃO DAS MELHORIAS	126
4.8.1	Redimensionamento dos Bicos de Envase	126
4.8.2	Contenção da Sujidade na Cuba de Envase	130
4.8.3	Ajuste do <i>spray ball</i> na Lavagem da Cuba	131
4.8.4	Diminuição do Número de <i>Set-ups</i>	133
4.8.5	Realização de Treinamento Padronizado	134
4.9	FASE CONTROLE DAS AÇÕES TOMADAS	136
4.9.1	Controle dos Diferentes Bicos de Envase	136
4.9.2	Controle do Tempo de Troca dos Filtros da Cuba	137
4.9.3	Controle do Tempo de Lavagem da Cuba	137
4.9.4	Controle do Número de <i>Set-ups</i> Realizados	138
4.9.5	Controle do Treinamento <i>On-the-job</i>	138
5.	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	140
5.1	APRESENTAÇÃO DA PRODUTIVIDADE ALCANÇADA	143
5.2	COMPROVAÇÃO ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS	144
5.2.1	Análise de Série Temporal Referente à Melhoria do Envase	144
5.2.2	Teste de Hipótese para Variância Antes e Depois das Melhorias	144
5.2.3	<i>Boxplot</i> Referente à Melhoria Alcançada no Processo de Envase	145
6.	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	147
6.1	INTRODUÇÃO	147
6.2	AVALIAÇÃO DO PROBLEMA ESTUDADO	147
6.3	AVALIAÇÃO DAS HIPÓTESES BÁSICAS	147
6.3.1	Primeira Hipótese	147
6.3.2	Segunda Hipótese	148
6.4	CONCLUSÃO	149
6.5	SUGESTÕES PARA CONTINUIDADE DA PESQUISA	151
6.6	RESTRIÇÕES E LIMITAÇÕES DO PROJETO	152
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	153
	ANEXO 1	156
	ANEXO 2	157

1. INTRODUÇÃO

1.1 OBJETIVOS

Os objetivos do trabalho são os seguintes:

- demonstrar por meio deste, a utilização da metodologia Seis Sigma e respectivas fases DMAIC (definir, medir, analisar, melhorar e controlar) para o aumento da produtividade do envase de tintas decorativas a base de solvente;
- tratar sobre o surgimento da metodologia Seis Sigma, sua implementação e treinamento na metodologia;
- evidenciar as principais ferramentas estatísticas utilizadas para o desenvolvimento das fases DMAIC;

Os objetivos do experimento são os seguintes:

- utilizar a metodologia Seis Sigma para aumentar a taxa de produtividade em 1,2, referente ao envase da máquina denominada Devree II;
- reduzir os custos de horas extras decorrentes da necessidade em atender a demanda de envase;
- implementar a metodologia Seis Sigma como uma sistemática rotineira para resolução de problemas em ambiente fabril;
- promover a capacitação técnica de 100% dos colaboradores (30 pessoas) na metodologia Seis Sigma, objetivando a melhoria contínua dos processos da organização.

O objetivo do experimento está alinhado com a Visão BASF 2015 e a Política de Sistema de Gestão Integrada para a América do Sul (anexos 1 e 2), promovendo o desenvolvimento de pessoas e melhoria contínua dos processos respeitando o meio ambiente e buscando satisfazer as necessidades de clientes em prol da excelência operacional.

1.2 QUESTÃO DA PESQUISA

A questão deste trabalho é importante uma vez que a intensa concorrência de mercado exerce pressão contínua sobre as organizações de modo que estas apresentem progressivamente, melhores produtos com menores preços. Não diferentemente, aplicou-se a melhoria continua por meio da metodologia Seis Sigma sobre os processos de manufatura, com a intenção de torná-los cada vez mais eficientes e eficazes.

A questão de pesquisa que este trabalho desenvolveu levou em consideração os aspectos de produtividade e a questão cultural, ambas relacionadas à implementação da metodologia Seis Sigma.

A questão é:

É possível obter aumento de produtividade em um processo de envase de tintas decorativas por meio da utilização da metodologia Seis Sigma? Ainda dentro deste contexto, é possível, por meio da utilização disciplinada da referida metodologia, incorporá-la à cultura tecnológica da empresa tanto no nível gerencial quanto operacional?

1.3 JUSTIFICATIVA

A metodologia Seis Sigma foi utilizada para prover melhoria no processo de envase de tintas decorativas a base de solvente devido historicamente apresentar resultados positivos nas unidades da BASF nos Estados Unidos e Alemanha, obtendo ganhos rápidos e sustentáveis.

A decisão pela aplicação da metodologia Seis Sigma para resolução da baixa produtividade, a qual demandava horas extras para cumprimento do plano de envase de 2007, foi requerida pela Alta Gerência.

Tal atitude foi embasada no histórico de sucesso obtido nos Estados Unidos e Alemanha, reforçado pela literatura da metodologia, a qual evidenciava seu potencial na obtenção de resultados rápidos e sustentáveis por meio das fases DMAIC.

Importante ressaltar que outras metodologias e ferramentas da qualidade foram utilizadas para prover melhorias no envase, porém sem resultados expressivos, apenas apresentando melhorias pontuais, sem continuidade das mesmas.

Dentre os três tipos de aplicação do Seis Sigma, explorado no item 2.3.2, adotou-se o de aprimoramento estratégico focando as estratégias chaves e deficiências operacionais, alinhado com o experimento em estudo.

A produtividade média da máquina de envase Devree II necessária para atendimento do plano de envase em 2007 foi calculada em 400 l/h/h (litros, hora, homem), ou seja, 16.000 litros por turno, porém, apresentava 333 l/h/h, 13.300 litros por turno, necessitando aumentar a taxa da produtividade/máquina em 1,2, ou seja, 20% adicional.

Os fatores que levaram a Devree II ser estudada pela metodologia Seis Sigma foram:

- única máquina que apresentava variedade de cores intensas como azul, vermelha, amarela, preta e verde, dificultando o processo de descontaminação de um lote para outro. Outras máquinas apresentavam somente cores em tons pastéis, como branca, neve, gelo, creme, não sendo tão complexo o processo de descontaminação entre os lotes;
- comparada com as outras máquinas de envase possuía maior número de *Set-ups* em função dos tamanhos de lotes serem menores, quando comparados aos fabricados para o envase das tintas com tons pastéis.
- alta interface homem máquina para o processo de mudança de embalagens de galão para quartos de galão e vice-versa, apresentando uma relação de envase entre as embalagens de 80:20, galão e quarto de galão respectivamente. Outras máquinas de envase não apresentavam freqüências de trocas tão altas como a Devree II.
- apresentava desvios médios de envase de até 5.000 litros por turno trabalhado, representando até 37% da média de envase no mesmo período (turno).

Para o cálculo da produtividade manteve-se constante por decisão gerencial, as variáveis tempo e número de colaboradores disponíveis para o envase, devendo estes serem melhorados, em função das oportunidades que a máquina apresentava e possíveis deficiências de treinamento para sua adequada operação.

1.4 CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO

Duas frentes orientaram o desenvolvimento deste trabalho: a) utilizar a metodologia Seis Sigma para resolução de problemas de produtividade na linha de envase de tintas decorativas a base de solvente; e b) seguir adequadamente as fases DMAIC para atingimento dos objetivos propostos, utilizando como suporte, o programa de computador denominado Minitab, o qual apresenta as leituras gráficas referente aos testes estatísticos realizados.

A primeira contribuição refere-se à quebra de paradigmas na utilização de novas metodologias e ferramentas para o aprimoramento da melhoria continua dos processos, utilizando-se do Seis Sigma, metodologia com abordagem significativamente diferente das comumente utilizadas para a resolução de problemas, exigindo um grau de mudança cultural importante em todo o processo, uma vez que 90% dos integrantes do *team members* fazia parte do processo fabril.

A segunda contribuição implanta uma sistemática robusta para a resolução de problemas a partir das fases DMAIC, utilizando as ferramentas disponíveis em cada fase para resolução de atividades rotineiras, como:

- interpretação de dados do processo;
- realização de testes de hipóteses sobre questões relativas à melhorias da fábrica;
- roll-out (desdobramento) das ações realizadas no processo de envase para os processos fornecedores e processos posteriores ao mesmo.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

CAPÍTULO 1

Neste capítulo têm-se a introdução do experimento, definição dos objetivos, justificativa do escopo, definição do problema e a questão da pesquisa.

CAPÍTULO 2

Neste capítulo apresenta-se a revisão bibliográfica, explorando o surgimento do Seis Sigma, capacitação e implementação do Seis Sigma, descrição das fases que compõem a metodologia por meio das fases DMAIC e respectivas ferramentas que o suportam.

CAPÍTULO 3

Neste capítulo têm-se a exploração da metodologia de pesquisa e coleta de dados utilizados para o desenvolvimento do experimento. Exploram-se adicionalmente, outras metodologias de pesquisa e coleta de dados, finalizando na conclusão do modelo adotado.

CAPÍTULO 4

Neste capítulo têm-se o desenvolvimento do experimento, apresentação da empresa, definição das matérias-primas, fábrica, processo de envase explorado, seguido das definições do produto acabado e das ferramentas do Seis Sigma utilizadas para o desenvolvimento do experimento, assim como as evidências de melhoria que o sustentam.

CAPÍTULO 5

Neste capítulo têm-se a apresentação dos resultados finais obtidos após implementação das melhorias com suas respectivas análises estatísticas comprobatórias, finalizando com a consolidação dos resultados alcançados.

CAPÍTULO 6

Neste capítulo são apresentadas as considerações finais, bem como a avaliação do problema estudado e as respectivas hipóteses consideradas para o desenvolvimento do mesmo. Elencam-se também na fase final do trabalho, as possibilidades de continuidade da pesquisa elaborada, finalizando com a conclusão do trabalho de dissertação.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 DEFINIÇÃO DO SEIS SIGMA

A letra grega σ (Sigma) é utilizada para representar o desvio-padrão, ou seja, a medida relativa à variação de uma população. O termo “Seis Sigma” foi desenvolvido para descrever uma filosofia de negócio, um processo de melhoria e uma métrica para benchmarking¹. A espinha dorsal para cada fase do “Seis Sigma” é baseada num sistema de medida de falhas, a qual será explorado por meio das equações para cálculo do nível Sigma nos itens 2.2.5 e 2.2.6.

Seis Sigma é um conjunto de práticas originalmente desenvolvidas pela Motorola com a finalidade de melhorar sistematicamente os processos na eliminação dos defeitos. Um defeito é definido como uma não conformidade de um produto ou serviço contra suas especificações.

Segundo Pande; Neuman; Cavanagh (2001), Seis Sigma é um sistema robusto que tem por objetivo maximizar os resultados das empresas. É a unidade estatística utilizada para medir a capacidade de um processo para funcionar sem falhas. Um produto ou serviço com 99,9997% sem falhas, significa ser um processo Seis Sigma. Geralmente processos que não tenham Seis Sigma contribuem com cerca de 30% de seu faturamento para perdas e refugos, enquanto com o nível Seis Sigma, este valor é inferior a 10%.

Segundo Hutchins (1994), a metodologia Seis Sigma reforça o controle estatístico da qualidade no âmbito da definição de padrões de excelência operacional devendo estes não ultrapassar 3,4 defeitos em um milhão de oportunidades. Trata-se de uma metodologia com caráter preventivo e com abordagem para a melhoria contínua, fixando níveis de referência competitivos em todo o mundo. O nível Sigma mundial para os diversos tipos de processos enquadram-se em 4 Sigmas, conforme observado na figura 1.

¹ Benchmarking “melhores práticas na indústria, verifica o melhor desempenho entre dois ou mais processos, comparando-se métricas, resultados, desempenho. Pode ser realizado internamente dentro de uma organização, comparando processos de áreas distintas ou externamente comparando-se com outra empresa” (COLENGHI, 2003)

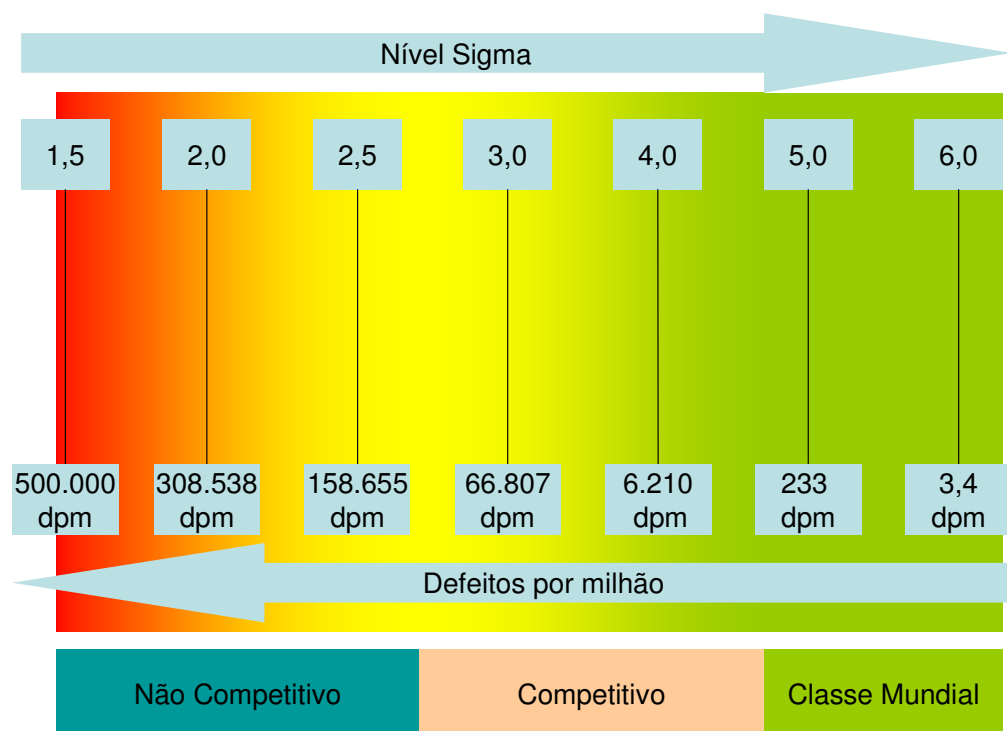


FIGURA 1 – NÍVEL SIGMA
 FONTE: adaptada de Campos, 2007

Segundo Campos (2005), o Seis Sigma é uma metodologia de melhoramento contínuo que visa à redução das variabilidades. Enquanto metodologia de melhoria contínua da qualidade, o Seis Sigma não apresenta grandes saltos qualitativos, tendo aproveitado conceitos já desenvolvidos e utilizados por outras técnicas de melhoria da qualidade, como análise e controle estatístico de processo, análise do fluxo de processo, simulação, entre outros, todavia, mostra-se inovador principalmente quanto ao:

- Foco estratégico adotado para se definir qual processo a ser melhorado;
- Critério para definição das metas de melhoria.

Para Marshall (2004), Seis Sigma significa reduzir o número de defeitos, a variabilidade dos processos, a melhora dos produtos, a diminuição do tempo de ciclo, o aperfeiçoamento dos estoques, a obtenção de custos mais baixos, a satisfação dos clientes, o aumento da qualidade e a lucratividade, resultando em importantes impactos financeiros para a companhia.

O Seis Sigma trata de uma abordagem que nos dias de hoje atrai a atenção de muitas empresas por conta de sua sistemática em alcançar a diminuição da variabilidade e dos desperdícios nos processos, por meio de métodos estatísticos e dos conceitos da qualidade. Utiliza métodos estatísticos integrados e uma sequência lógica com abordagem de gestão,

objetivando atingir elevados níveis de desempenho. Os resultados no Seis Sigma tipicamente podem ser medidos e expressos por meio da variação de seus processos e sugere que empresas busquem tal desempenho em termos estatísticos, atingindo no máximo de 3,4 defeitos a cada um milhão de oportunidades, condição esta atingida por poucas empresas até os dias de hoje.

Quanto mais alto for o Sigma do processo, menor será a quantidade de falhas. Adicionalmente a outras formas de gerenciamento de processos, o Seis Sigma tem como prioridade a obtenção de resultados rápidos de forma planejada e clara, objetivando principalmente os resultados financeiros.

Segundo George (2002), se 80% dos problemas são respondidos por apenas 20% das causas é essencial que se determine em tempo hábil e as elimine utilizando o Seis Sigma.

Segundo Harry (2000), um processo de Classe Mundial com nível Seis Sigma, apresentaria as seguintes condições como exemplo:

- 7 itens perdidos por hora pelas empresas de correio no mundo;
- 1 minuto de água não potável a cada 7 meses;
- 2 cirurgias incorretas por semana;
- 1 aterrissagem incorreta a cada 5 anos num grande aeroporto;
- 68 receitas médicas incorretas por ano;
- 1 hora de falta de energia elétrica a cada 34 anos.

Para os processos convencionais, de três a quatro Sigmas:

- 20.000 itens perdidos por hora pelas empresas de correio no mundo;
- 15 minutos de água não potável a cada 7 meses;
- 5.000 cirurgias incorretas por semana;
- 2 aterrissagens incorretas por dia num grande aeroporto;
- 200.000 receitas médicas incorretas por ano;
- 7 horas de falta de energia elétrica por mês.

Segundo Corrêa e Corrêa (2006), os processos sempre estarão sujeitos a variações, e, portanto, disponíveis para o contínuo melhoramento.

Métodos tradicionais de controle de processos consideram como normais variações que mantenham 99,73% dos resultados dentro dos limites de controle (limites aceitáveis). As variações de um processo de atendimento em uma área de Help Desk (suporte e resolução de problemas técnicos em informática) resultam, por exemplo, no tempo que transcorre até que o cliente seja atendido. Supondo-se que o tempo máximo considerado pelo cliente até o atendimento seja 20 segundos, o processo de atendimento estaria sob controle se 99,73% das ligações realizadas pelos mesmos fossem atendidas em no máximo 20 segundos. Isso representa que somente 3 a cada 1000 clientes teriam atendimentos acima de 20 segundos. A metodologia Seis Sigma propõe uma taxa de 3,4 defeitos em um milhão de oportunidades, portanto, a taxa acima é considerada excessiva, pois apresenta 3000 defeitos em um milhão de oportunidades.

A abordagem Seis Sigma busca a qualidade e redução de custos com maior eficiência nos processos. A metodologia Seis Sigma se encaixa em qualquer tipo de empresa, seja ela de pequeno, médio ou grande porte, embora haja algumas restrições devido ao alto custo de implementação, podendo às vezes inviabilizar a adoção da mesma por parte das empresas de pequeno e médio porte.

Apesar do elevado custo de implementação, o Seis Sigma tem se mostrado eficiente na obtenção de resultados rápidos e positivos, porém, é imprescindível que o processo de treinamento e envolvimento das pessoas seja eficaz.

A metodologia Seis Sigma necessita alta disciplina em sua aplicação, para isso adota as fases do DMAIC que significam a definição, medição, análise, melhoria e controle das ações, por meio de uma sistemática disciplinada e ferramentas estatísticas de baixa a alta complexidade. Outro fator importante na aplicação do Seis Sigma é a disciplina do *Team Members* que, se não desenvolvida corretamente poderá comprometer o projeto.

O Seis Sigma será tão eficiente quanto for apoio gerencial e dedicação do *Team Members* no sentido de entender e explorar adequadamente as fases DMAIC e respectivas ferramenta estatísticas para resolução dos problemas.

Dois movimentos importantes para a Qualidade somaram seus benefícios surgindo então o *Lean*² Seis Sigma, resultado do *Lean Manufacturing* (produção enxuta) nascido no Japão

² *Lean* significa enxuto, do *Lean Manufacturing* (manufatura enxuta do Sistema Toyota de Produção).
Fonte: Ohno, 1997

dentro da fábrica de produção de automóveis da Toyota após a segunda guerra mundial, e o Seis Sigma no processo de manufatura da Motorola, na década de 70/80.

Segundo Campos (2007), o *Lean Seis Sigma* na prática é o resultado da soma dos benefícios do *Lean Manufacturing* ao Seis Sigma, obtendo-se como resultado, a melhoria dos processos como aumento da velocidade, permitindo a obtenção da qualidade com produtividade.

Importante definir o *Lean Seis Sigma* como sendo uma metodologia aplicada à resolução de problemas relacionados aos tempos de ciclo dos processos, tipos de *Set-ups*, desperdícios de estoque, *WIP – Work in Process* (estoque em espera) etc. A aplicação desta metodologia possui a mesma característica de abordagem do Seis Sigma, portanto, segue as mesmas fases do DMAIC, somado os princípios da manufatura enxuta.

Embora o *Lean Seis Sigma* não tenha sido explorado neste experimento é importante considerar sua definição, pois será citado ao final deste trabalho, no item 6.5.

2.2 SURGIMENTO E APLICAÇÃO DO SEIS SIGMA

2.2.1 Surgimento do Seis Sigma

Segundo Corrêa e Corrêa (2006), a metodologia Seis Sigma surgiu por meio do programa de qualidade da Motorola em 1987, objetivando realizar o produto com zero defeito. Devido ao sucesso atingido, outras empresas de grande porte passaram a adotar a mesma metodologia para melhorar seus processos, como *General Electric*, dentre outras. A figura 2 demonstra a ordem cronológica do surgimento do Seis Sigma.

2.2.2 Influência das Atividades Industriais na Qualidade

Segundo Eckes (2001), desde o início do século XX a preocupação com a qualidade é fortemente influenciada pela migração das atividades agrícolas para as industriais, evoluindo de uma produção artesanal para uma produção em massa. A garantia da qualidade dos produtos (frutos de uma análise individual do próprio artesão) passou a depender do

desenvolvimento de grupos de especialistas que inspecionavam os produtos e peças após sua fabricação.

Tal abordagem de inspeção funcionou muitos anos devido à alta necessidade dos consumidores norte-americanos por bens e serviços, sem muito enfoque nas características voltadas a qualidade, desde a produção de automóveis em massa com Henry Ford, até William Levitt, com a criação de residências populares para os que retornaram no pós-guerra.

Na visão de Henry Ford no início do século XX, em função das limitações dos processos para atendimento das características importantes, evidenciou-se a necessidade da criação de novos cargos como forma de maximizar o atendimento das mesmas.

“Henry Ford percebeu as limitações do processo de produção artesanal e atuou para superá-las na produção de automóveis no início do século XX. Aplicou as idéias da Administração Científica criada por Taylor (1978), subdividindo as tarefas de montagem em atividades muito simples, que exigiam baixa qualificação e rápido treinamento. Com isto tornaram-se necessárias diversas funções de apoio à produção, surgindo novos tipos de cargos nas empresas” (WOMACK; JONES; ROSS, 1992, p.337 apud SILVA F.D.P., 2002, p. 8).

2.2.3 Outros Fatores Importantes na Mudança da Percepção da Qualidade

Segundo Ohno (1997), no início da década de 70, o conceito de qualidade para os norte-americanos começava a mudar, passando a enxergar além das diferenças físicas que os carros apresentavam na época.

Uma série de fatores importantes ajudou a modificar a percepção das pessoas em relação à qualidade, os quais são citados abaixo:

- movimento feminista com as mulheres entrando para o mercado de trabalho;
- crise do combustível com a migração para automóveis com menor consumo;
- análise das características-chaves ao final da linha não garantia a qualidade do produto elevando os custos do mesmo;
- evolução do Japão com a produção de carros resistentes, econômicos e de baixa manutenção;
- tentativa dos EUA na recuperação da Qualidade.

2.2.4 Importância do Conceito de Deming para o Seis Sigma

A figura 2 mostra a ordem cronológica do surgimento do Seis Sigma.

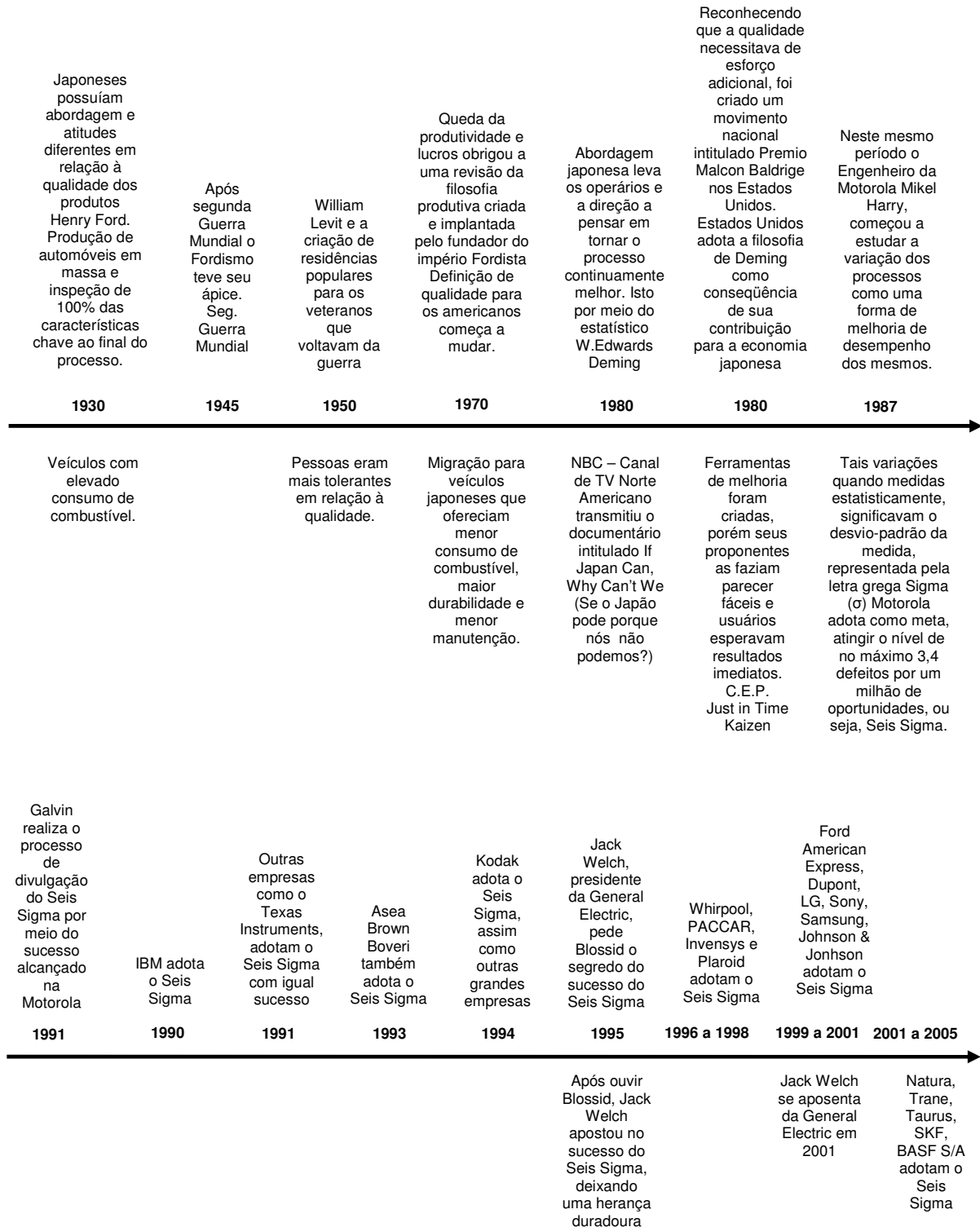


FIGURA 2 – LINHA DO TEMPO PARA SURGIMENTO DO SEIS SIGMA
FONTE: adaptada de Eckes, 2001

Segundo Eckes (2001), o engenheiro estatístico Mikel Harry da Motorola estudou o conceito de Deming a respeito da variação dos processos (desvio padrão da média representado pela letra grega σ). Posteriormente Mikel Harry, impulsionado por Bob Galvin, presidente da Motorola, superou o desafio em obter um processo Seis Sigma, atingindo no máximo de 3,4 defeitos a cada milhão de oportunidades.

Em 1996, Jack Welch, então presidente da empresa norte-americana *General Eletric*, também utilizou a metodologia Seis Sigma para atingir o nível de Seis Sigma em seus processos, obtendo resultados significativos para os negócios.

Tal experiência teve grande importância não só para a GE como para o futuro do Seis Sigma no âmbito empresarial, marcando assim o caso mais famoso e mais bem sucedido desta metodologia, considerado até hoje o modelo a ser seguido por muitas empresas.

2.2.5 Cálculo do Nível Sigma

Para se determinar o Nível Sigma em um determinado processo, necessita-se primeiramente definir quais são as características críticas para a qualidade a fim de se definir o escopo a ser medido, item explorado em 2.6.6. Seqüencialmente as características em questão deverão ser verificadas em relação a sua classificação como dados quantitativos contínuos ou quantitativos discretos, conforme exemplificado na tabela 1.

Dados contínuos são aqueles que podem ser medidos, como peso, altura, velocidade, volume etc.

Dados discretos são dados que são contagens de freqüência, como número de defeitos, quantidade de pessoas na sala, número de latas amassadas, número de carros vermelhos, número de lotes reprovados etc.

Calcula-se o número de defeitos encontrados conforme tabela 2, sendo DPMO (defeitos por milhão de oportunidades) e DPO (defeitos por oportunidade). Para o cálculo de DPO, tem-se a razão entre o número de defeitos encontrados sobre a multiplicação do número de unidades observadas e respectivas oportunidades de defeitos associadas a elas, verificando-se o Nível Sigma a partir da tabela 3, que fornece a correlação entre o nível DPMO e DPO em relação ao nível Sigma do processo. O fluxograma para determinação do Nível Sigma do processo pode ser verificado por meio da figura 3.

Defeitos por oportunidade, ou DPO: Expressa a proporção de defeitos em relação ao número total de oportunidades em uma categoria de produto e serviço.

Defeitos por milhão de oportunidades ou DPMO: A medida DPO pode ser traduzida para defeitos em um milhão de oportunidades, ou partes por milhão, e significa multiplicar DPO por um milhão.

A capacidade do processo Cp, associado na tabela 3, reflete a capacidade de um processo em produzir algo sem defeitos, item explorado em 2.6.19.

TABELA 1 – EXEMPLO DE DADOS QUANTITATIVOS CONTÍNUOS E DISCRETOS

Dados Contínuos	Dados Discretos
Temperatura (temperatura de envase da tinta) em ° C (Graus Celsius)	Número de vezes em que a temperatura passou do limite
Viscosidade da resina em mPa.s (MiliPascal)	Número de vezes em que a viscosidade excedeu o limite superior de especificação
Velocidade de reação em g/segundo (gramas por segundo)	Número de vezes em que a velocidade de reação apresentou-se fora do esperado
Altura da peça em mm (milímetros)	Número de vezes em que a altura da peça apresentou-se abaixo do limite mínimo especificado
Produtividade de envase em l/h/h (litros por hora homem)	Número de vezes em que a produtividade não atingiu a média esperada

FONTE: próprio autor

TABELA 2 – DPO E DPMO

Defeitos por oportunidade ou DPO	Defeitos por Milhão de Oportunidades ou DPMO
<p>Fórmula:</p> $\frac{\text{Número de defeitos}}{\text{Número de unidades} \times \text{Número de oportunidades}}$ <p>Exemplo de veículo:</p> <p>990 defeitos em 750 carros, 1500 oportunidades para defeitos</p> $\text{DPO} = \frac{990 \text{ defeitos}}{750 \text{ unidades} \times 1500 \text{ oportunidades por carro}} = 0,00088$	<p>Fórmula:</p> $\text{DPO} \times 1.000.000$ <p>Exemplo do carro:</p> $\text{DPMO} = 0,00088 \times 10^6 = 880$

FONTE: adaptada de Eckes, 2001

TABELA 3 - CORRELAÇÃO ENTRE CP, DPMO, DPO E O NÍVEL SIGMA

Cp	DPMO	DPO	Nível Sigma
0,33	697.672	0,697672	1 Sigma
0,67	308.770	0,30877	2 Sigmas
1,00	66.811	0,066811	3 Sigmas
1,33	6.210	0,00621	4 Sigmas
1,67	233	0,000233	5 Sigmas
2,00	3,4	0,0000034	6 Sigmas

FONTE: adaptada de Eckes, 2001

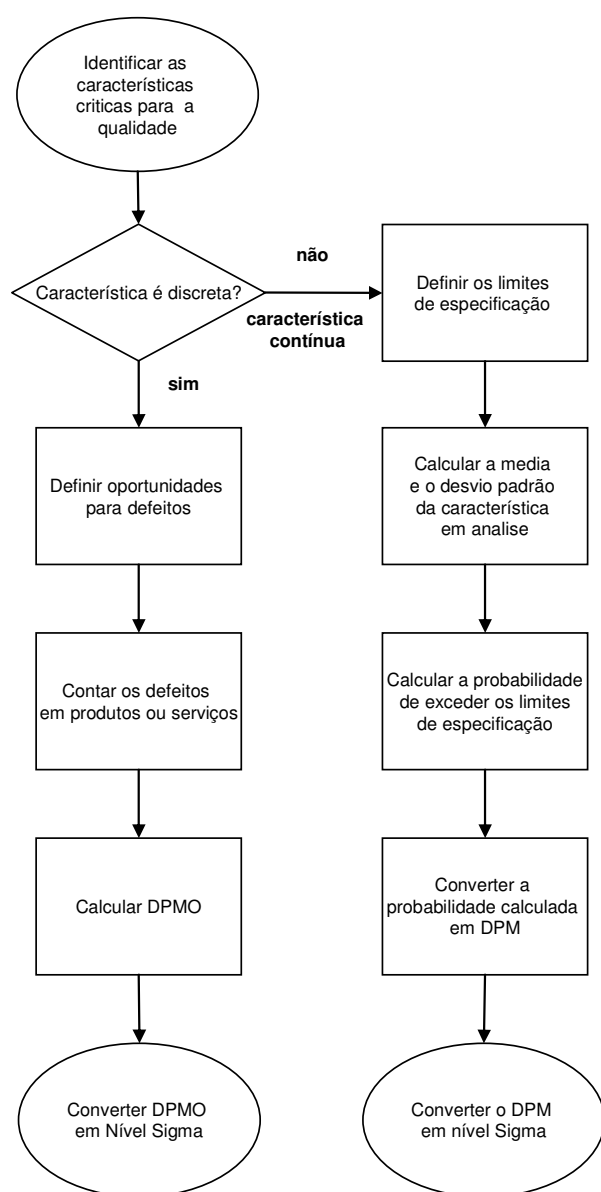


FIGURA 3 – FLUXOGRAMA PARA DETERMINAÇÃO DO NÍVEL SIGMA DO PROCESSO

FONTE: adaptada de Campos, 2005

2.2.5.1 Planilha para Cálculo do Nível Sigma

Existem inúmeras planilhas eletrônicas disponíveis que calculam automaticamente o nível sigma do processo, conforme figura 4, bastando somente inserir os valores conforme demonstra os passos abaixo de 1 a 6.

CÁLCULO DO NÍVEL SIGMA		DADOS POR VARIÁVEIS					Resultados	
Utilizando processo deslocado 1,5 sigma.		LIE	ALVO	LSE	Média	Desvio	dpmo	Nível Sigma
DESCRIÇÃO DA CARACTERÍSTICA		Especificação			Processo			
Variáveis bilaterais								
Variáveis unilaterais			Variáveis que apresentam apenas limites inferiores de especificação					
Variáveis unilaterais		Variáveis que apresentam apenas limites superiores de especificação						

FIGURA 4 – PLANILHA PARA CÁLCULO NO NÍVEL SIGMA

FONTE: calculo do nível Sigma, 2009

A planilha conforme figura 4, calcula automaticamente o nível Sigma de um processo para variáveis quantitativas com deslocamento de 1,5 Sigma, conforme os seguintes passos:

- 1) Não preencher a coluna resultado (dpmo e nível sigma);
- 2) Na coluna "Descrição da característica", informar o nome ou a descrição das variáveis quantitativas do estudo;
- 3) Na coluna "LIE", informar o limite inferior de especificação para cada uma das variáveis;
- 4) Na coluna "Alvo", informar o valor nominal para o alvo ou valor teórico ideal de cada uma das variáveis;
- 5) Na coluna "LSE", informar o limite superior de especificação para cada uma das variáveis;
- 6) Nas colunas "Média" e "Desvio", informar o valor da média e desvio padrão amostrais para cada variável.

2.2.6 Fórmula para Cálculo do Nível Sigma

Conforme Campos 2005, embora não seja usual determinar o nível sigma por meio das equações, e sim por meio de tabelas dinâmicas, conforme apresentado na figura 4, defini-se por meio das equações 1, 2, 3, 4 e 5 o cálculo para o Nível Sigma:

$$NS = \text{inv.normp}(1 - p.\text{total}) + 1,5 \quad (1)$$

Onde:

$$p.\text{total} = p.\text{LIE} + p.\text{LSE} \quad (2)$$

Onde:

$$p.\text{LIE} = \text{dist.normp}(z.\text{LIE}) \text{ e } p.\text{LSE} = 1 - \text{dist.normp}(z.\text{LSE}) \quad (3)$$

Onde:

$$z.\text{LIE} = \left(\frac{LIE - \bar{x}}{s} \right) \text{ e } z.\text{LSE} = \left(\frac{LSE - \bar{x}}{s} \right). \quad (4)$$

Combinando todos os termos numa única equação 15, tem-se:

$$NS = \text{inv.normp} \left\{ 1 - \left[\text{dist.normp} \left(\frac{LIE - \bar{x}}{s} \right) + \left(1 - \text{dist.normp} \left(\frac{LSE - \bar{x}}{s} \right) \right) \right] \right\} + 1,5 \quad (5)$$

Sendo que:

NS = nível sigma

inv.normp = função distribuição normal padrão inversa

\bar{x} = média amostral do processo

s = desvio padrão da amostra

σ = desvio padrão da população

s^2 = variância da amostra

σ^2 = variância da população

1,5 = constante adicionado devido ao deslocamento típico de processos

LIE= limite inferior de especificação

LSE= limite superior de especificação

dist.normp= distribuição normal padrão

z = pontuação padrão (pontuações-Z)

2.2.7 Fórmula para Cálculo do Desvio Padrão Amostral

A equação 6 define o cálculo para o Desvio Padrão

$$S = \sqrt{\text{variância amostral}} \quad (6)$$

2.2.8 Fórmula para Cálculo da Variância Amostral

A equação 7 define o cálculo para a Variância Amostral

$$s^2 = \frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n - 1} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1} \quad (7)$$

2.2.9 Fórmula para Cálculo da Distribuição Normal

Segundo Campos (2005), a distribuição normal é um modelo estatístico que fornece uma base teórica para o estudo do padrão de ocorrência dos elementos de várias populações de interesse. Um dos mais importantes exemplos de distribuição contínua de probabilidade é a distribuição Normal, chamada também de distribuição Gaussiana. A função densidade de probabilidade para esta distribuição é dada pela equação 8:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right\} \quad (8)$$

A curva da distribuição é simétrica em forma de sino, conforme figura 5.

2.3 CONCEITOS SOBRE O DESENVOLVIMENTO DA METODOLOGIA

2.3.1 Capacitação para a Metodologia Seis Sigma

Segundo Coronado e Antony (2002), o treinamento deve ser aplicado para toda a companhia, iniciando pela alta administração e seguindo para todos os níveis hierárquicos.

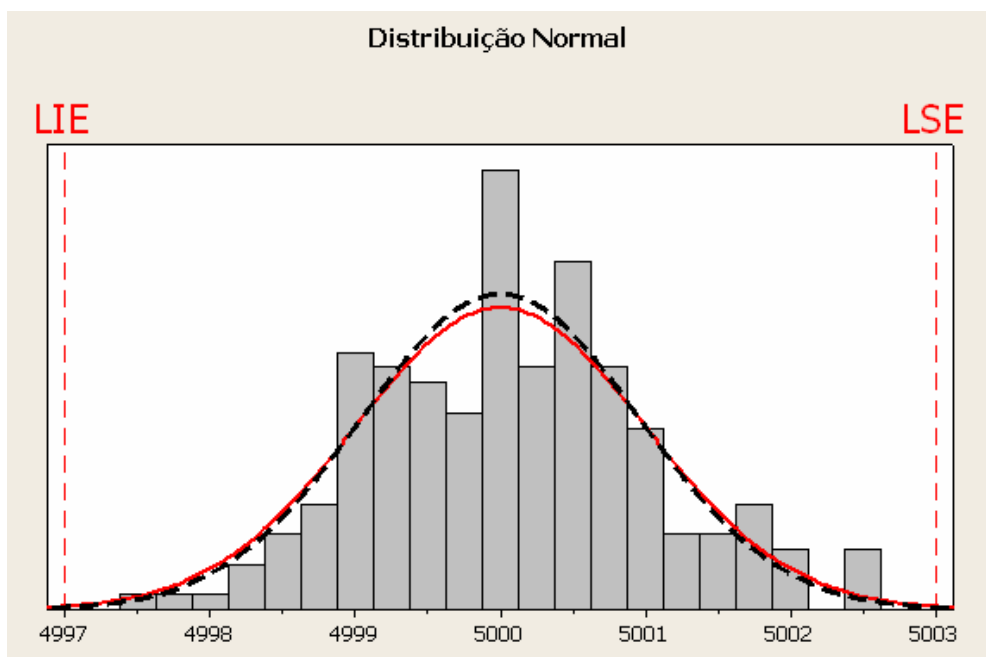


FIGURA 5 – MODELO DE DISTRIBUIÇÃO NORMAL
 FONTE: adaptada de distribuição normal, 2008

A comunicação sobre o processo de implementação do Seis Sigma é fator essencial para se obter êxito no programa. Os colaboradores devem ser comunicados sobre como e por que as pessoas serão treinadas, evitando assim qualquer tipo de desconfiança sobre a metodologia.

Segundo Pande (2001), o fator de sucesso para um adequado treinamento deve abordar alguns princípios básicos como:

- focar a aprendizagem na prática;
- exemplificar as lições com o mundo realista;
- construir conhecimento;
- ter variedade de estilos de aprendizagem;
- fazer com que o treinamento seja algo mais do que aprendizagem;
- fazer com que o treinamento seja um esforço contínuo.

Segundo Berdebes (2003), o sucesso da implementação da metodologia Seis Sigma irá depender dos profissionais devidamente treinados, que possuam domínio das diversas ferramentas de análise estatística e qualidade, sendo estes divididos em *Green-Belts*, *Black-Belts* e *Master Black-Belts*. O detalhamento das graduações de formação do Seis Sigma será discutido no item 2.3.3.

Na figura 6, verificam-se as fases de aprendizado da metodologia Seis Sigma, em relação ao DMAIC.

Segundo Brusse (2004), para o correto desenvolvimento da metodologia Seis Sigma necessita-se atender as cinco fases que o definem, sendo estas:

- definir, D – *Define*, definição do problema deve ser tão específica quanto possível;
- medir, M – *Measure*, medições precisas de dados quantos forem suficientes para gerar a análise dos mesmos;
- analisar, A – *Analyze*, analisar os dados coletados para verificação de sua consistência em relação ao problema definido, identificando a causa raiz e definindo soluções para mitigação e ou eliminação da mesma;
- melhorar, I – *Improve*, uma vez determinada a causa raiz, programa-se as melhorias para posterior controle de eficácia da ação implantada;
- controlar, C – *Control*, controla as ações de melhoria implantadas para verificar a robustez da mesmas.

Segundo Campos (2005), a fase do aprendizado está inserida entre as fases MEDIR, ANALISAR, APRIMORAR e CONTROLAR, pois, a fase DEFINIR, reserva-se apenas à definição do escopo e definição de limites de controle.

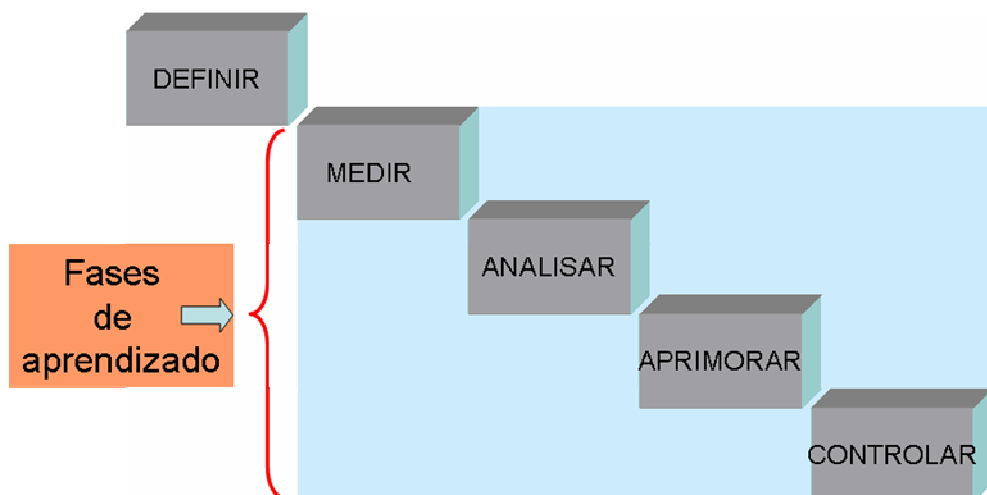


FIGURA 6 – FASE DE APRENDIZADO DO SEIS SIGMA
FONTE: adaptada de Campos, 2005

2.3.2 Implementação da Metodologia Seis Sigma

Segundo Campos (2005), existem três níveis para implementação do Seis Sigma:

- Seis Sigma para transformação do Negócio – É implantado em toda a empresa e exige forte mudança cultural em relação à forma de fazer os negócios, atitudes focadas no cliente e engloba todos os processos;
- Seis Sigma para aprimoramento estratégico – Foca estratégias chaves ou deficiências operacionais, aplicada em produtos ou processos do negócio, processo de desenvolvimento de produtos e aumento da eficiência operacional;
- Seis Sigma para resolução de problemas – Foca questões específicas e necessidades urgentes, aprimoramento dos resultados e redução das reclamações de clientes.

Conforme Campos (2005), no processo de implementação do Seis Sigma, rigorosamente as fases DMAIC apresentadas na figura 7 deverão ser seguidas. Nenhuma das fases deverá deixar de ser considerada, pois seguem uma lógica de resolução de problemas. Não cumprir ou cumprir alguma das fases de forma irregular, significa obter atraso no projeto e ou resultados não reais para elaboração das próximas ações.

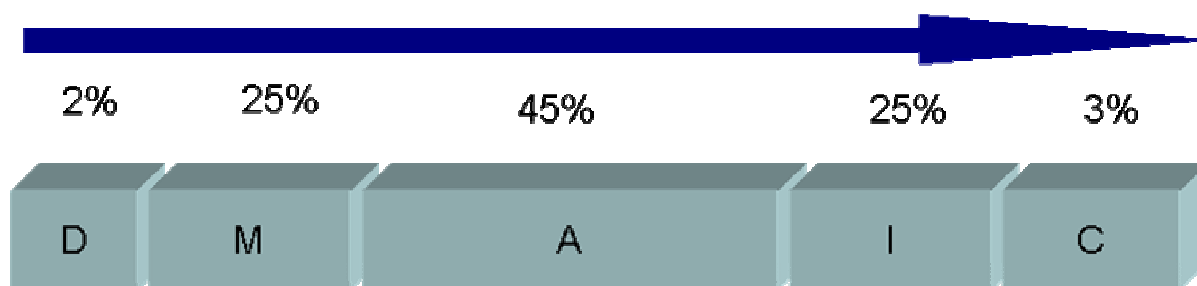


FIGURA 7 – PARTICIPAÇÃO DAS FASES DMAIC NO PROCESSO DE IMPLEMENTAÇÃO DO SEIS SIGMA
FONTE: adaptada de Campos, 2005

Conforme Brusse (2004), implantar o Seis Sigma será tão mais fácil quanto integrado estiverem seus líderes. Isto inclui realizar um plano de comunicação eficaz para toda empresa, incluindo metas, investimento de tempo e custos de implementação. Quanto mais claro e transparente for o processo de comunicação, menores serão as barreiras que poderão surgir no processo.

Para o processo de implementação e capacitação do Seis Sigma deverão ser levados em consideração, segundo Campos (2005), os seguintes pontos:

- todo trabalho é uma série de processos;
- todos os processos são passíveis de variabilidade;
- toda variabilidade possui sua causa raiz;
- geralmente poucas causas são significantes;
- as causas das variabilidades precisam ser conhecidas;
- uma vez conhecidas as causas das variabilidades precisam ser mitigadas;
- a variação não controlada é inimiga do processo.

2.3.3 Funções e Responsabilidades da Metodologia Seis Sigma

Conforme Brusse (2004), as empresas em geral adotam os seguintes níveis de responsabilidades:

- *green belts* – São líderes de projeto Seis Sigma, e encarregados de formar os times e gerenciar os projetos, até sua finalização. Geralmente, os treinamentos dos *green belts* consistem em aula semanal, conduzido paralelamente o projeto Seis Sigma. Neste treinamento abordam-se teorias de gerenciamento de projeto, ferramentas para gerenciamento da qualidade, capacidade de resolução de problemas, ferramentas de controle de qualidade e análise descritiva de dados;
- *black belts* – Tecnicamente embasados, estão ativamente envolvidos no processo de mudança e desenvolvimento organizacional. Normalmente são provindos de áreas multidisciplinares, não sendo necessariamente formados em engenharia ou estatística. Todavia, devida à alta aplicação de uma grande variedade de ferramentas em um período de tempo relativamente curto, cerca de 160 horas, geralmente possuem facilidade na interpretação de dados estatísticos sendo, na maioria, já formados em nível superior. Os *black Belts* auxiliam os *green belts* na definição dos projetos para o treinamento, participam, dão suporte aos projetos após os treinamentos;
- *master black belts* – Possui o maior nível hierárquico em termos de conhecimentos estatísticos em Seis Sigma. Os *master black belts* fornecem todo o suporte técnico para o programa de implementação do Seis Sigma, e para tanto, possuem conhecimento para suportar as dúvidas existentes dos *black belts*. Geralmente, os treinamentos são conduzidos pelos *master black belts*, evitando, assim, que

consequências desagradáveis possam atingir os membros dos times. Didática e comunicação também complementam o perfil do *master black belt*.

De acordo com Fucks (2004), uma particularidade bastante poderosa da Metodologia Seis Sigma é a criação de uma infra-estrutura que assegure os recursos necessários para as atividades que determinam o desempenho da empresa. Seguindo uma divisão hierárquica definida pela capacitação técnica do *team members* designado para cada projeto e o tempo de dedicação exclusivo ao desenvolvimento dos mesmos.

Além dos *green belts*, *black belts* e *master black belts*, existem outras posições importantes dentro da Metodologia Seis Sigma que oferecem suporte, como:

- *leadership* – Liderança que recebe as informações relativas aos resultados obtidos nos projetos, e paralelamente é responsável pelo processo de conscientização em todas as camadas em relação à implementação do Seis Sigma;
- *champion* – Liderança que possui conhecimento aprofundado do fluxo do processo, geralmente é o cliente do projeto. Com ele são definidas as métricas do projeto a serem medidas e as metas a serem alcançadas;
- *sponsor* – Liderança facilitadora dos projetos em andamento conhece a metodologia Seis Sigma a fim de orientar os donos dos times em relação à organização e demonstração de ganhos, apresentações dos projetos e formação de novas equipes a serem treinadas na metodologia Seis Sigma junto a liderança imediata e recursos humanos.

2.4 FASES E FERRAMENTAS DA METODOLOGIA SEIS SIGMA

2.4.1 Introdução

O Seis Sigma possui cinco fases importantes (DMAIC) que definem o desenvolvimento da metodologia na busca da redução das variáveis de processo. Ferramentas estatísticas já consagradas há tempos são utilizadas de forma estruturada de maneira prover o alcance dos objetivos propostos. Para entender melhor as fases e suas respectivas ferramentas, se faz necessário compreender a visão do Seis Sigma segundo os autores a seguir.

Segundo Corrêa e Corrêa (2006), a metodologia Seis Sigma inicia-se com a definição e criação de um acordo sobre quais são os objetivos estratégicos do negócio. Com base nos

objetivos estratégicos, são identificados os processos essenciais, subprocessos-chave e capacitadores. Essenciais são os que possuem impacto no atingimento dos objetivos estratégicos, subprocessos-chave são os que fazem parte dos essenciais e processos que não se enquadram nas duas classificações, mas que são fundamentais para a realização dos negócios da empresa, e definido como capacitores. As equipes de melhoramento irão atuar para cada vez mais para adequar estes processos de modo a torná-los mais eficientes.

Segundo Eckes (2001), existem cinco passos aplicáveis ao componente estratégico do Seis Sigma na Gestão de Processo do Negócio. Para que a metodologia Seis Sigma funcione, todos os níveis da empresa precisam estar ativamente envolvidos. A Gestão de Processo do Negócio é o veículo pelo qual o envolvimento das pessoas é iniciado e mantido.

Os elementos-chave do processo do negócio segundo Eckes (2001) são:

Passo 1 – Criação e acordo sobre os objetivos estratégicos do negócio

Para que um programa de qualidade seja bem sucedido é fundamental que tenha o apoio e o envolvimento ativo das lideranças da empresa. Para que isto seja obtido, o programa de qualidade deve estar vinculado aos objetivos estratégicos correntes da organização;

Passo 2 – Criação dos processos essenciais, subprocessos-chave e processos capacitores.

Tradicionalmente, uma empresa se organiza por função, para obter a eficiência e a eficácia. Esta é uma crença equivocada. Muitas organizações com perspectiva funcional podem acreditar que são eficientes e eficazes, embora não sejam por completo.

Uma empresa que pensa e age funcionalmente possui uma estrutura vertical em seu trabalho. Esta abordagem freqüentemente resulta em pensar e agir na direção da maximização de submetas e objetivos de função, o que, muitas vezes, pode gerar conflitos com as metas mais abrangentes da empresa;

Passo 3 – Identificação dos donos do processo.

Cada um dos processos essenciais, subprocesso-chave e processos capacitores devem ter um dono identificado, não necessariamente o chefe do departamento funcional relacionado ao processo, devendo este possuir as seguintes competências essenciais:

- conhecimentos suficientes dos subprocessos para serem considerados especialistas no assunto;

- habilidade de liderança que incluam a capacidade de persuasão (isto porque, sem autoridade hierárquica tradicional, o dono do processo deverá contar com sua capacidade de persuasão para obter respostas);
- entendimento e avaliação da gestão do processo do negócio;
- ser responsável pelo sucesso ou pelo fracasso do funcionamento do processo;
- respeitar os participantes do processo anteriores e subseqüentes ao seu.

Passo 4 – Criação e validação dos “painéis” de mensuração.

Além de descobrir quais as medidas de eficácia de um processo é também importante medir sua eficiência. A eficiência costuma ser mensurada em termos de tempo de ciclo, custos ou valor. Embora as duas primeiras medidas sejam auto-explicativas, a mensuração de valor baseia-se no atendimento por parte da etapa do processo de três critérios:

- o cliente está disposto a pagar por aquela etapa do processo;
- a etapa do processo transforma ou modifica fisicamente o produto ou serviço;
- a atividade é realizada corretamente logo na primeira vez.

Os problemas mais comuns de mensuração devem-se a escassez ou ao excesso de medidas. Neste último caso é importante que as medidas da eficácia e da eficiência limitem-se àquelas medidas que serão utilizadas pela empresa. Assim, a regra do 1-3 determina que para qualquer processo, apenas de 1 a 3 medidas serão definidas.

A utilização do critério abaixo ajuda na limitação desse número, mesmo quando este excede aos três recomendados:

- a) medir apenas o que é importante para o cliente;
- b) medir apenas os resultados do processo que são possíveis obter melhoria;
- c) deve-se evitar a mensuração de eficiência em relação a aspectos que não possuem um histórico de insatisfação dos clientes.

Passo 5 – Definição dos critérios para a seleção de projetos e escolha dos primeiros projetos.

É fundamental que uma empresa priorize esforços iniciais em direção à qualidade. A meta de longo prazo de um programa de qualidade deve ser, todas as pessoas praticarem os conceitos e técnicas de qualidade, enxergando a empresa com mentalidade de gestão de processos do negócio. Entretanto, a priorização dos subprocessos de melhoria nos estágios iniciais de implementação vai maximizar as chances de sucessos, daqueles que servem para neutralizar as resistências.

Segundo Werkema (2002), um dos elementos da infra-estrutura do Seis Sigma é a constituição de equipes para executar projetos que contribuam fortemente para o alcance das metas estratégicas da empresa. O desenvolvimento desses projetos é realizado com base em um método denominado DMAIC, conforme já explorado no item 2.5.

O comprometimento da alta administração é um dos principais pontos importantes na obtenção do sucesso da organização. A implementação do Seis Sigma compreende uma mudança de postura de todos os membros da organização, assim, é natural que as pessoas tenham receio das mudanças, criando resistências difíceis de serem vencidas sem o apoio da liderança. É importante ressaltar que nos primeiros meses os resultados dos projetos sejam evidenciados e uma definição clara por parte da alta administração seja estabelecida, pois, caso não ocorra, a possibilidade da perda do foco por parte do *Team Members* é alta, deslocando seus esforços para a rotina diária. Tal situação mitigará o sucesso dos primeiros projetos, lançando descrédito pela empresa e colocando em risco sua implementação.

2.5 FASES DO DMAIC

2.5.1 Fase Definir

Nesta fase deve-se determinar o problema, definir o alcance e limite do projeto, as metas de melhoria e determinar o que é um desempenho inaceitável ou um defeito, além de definir as equipes e seus líderes e estimar os impactos financeiros. Também é necessário mapear o processo ao qual o projeto está vinculado.

Segundo Wekema (2002), defini-se claramente a meta e o escopo do projeto, por meio do *Business Case* (caso de negócio) elaborado pelo *Champion*.

Nesta etapa, deverão ser respondidas as seguintes questões:

- qual é o problema - resultado indesejável ou oportunidade detectada a ser abordado no projeto?
- qual a meta a ser atingida?
- quais são os clientes e consumidores afetados pelo problema?
- qual o processo relacionado ao problema?
- qual é o impacto econômico do projeto?

2.5.2 Fase Medir

Nesta fase coletam-se dados para verificação do estado atual do processo, garantido que a sistemática de medição esteja adequada. É também o momento onde se estabelece a capacidade corrente do processo, não devendo haver falha, pois todos os restantes das fases se basearão nestas informações. Um estudo apurado de como os dados serão coletados e armazenados é vital antes de ir para campo na obtenção das informações.

Segundo Werkema (2002), na fase Medir, o problema deverá ser refinado ou focado, onde duas questões básicas devem ser respondidas:

- quais resultados devem ser medidos para obtenção de dados úteis à focalização do problema?
- quais são os focos prioritários do problema? Estes são indicados pela análise dos dados gerados pela medição de resultados associados ao problema.

2.5.3 Fase Analisar

A Fase Analisar possui caráter decisório no processo de melhoria do Seis Sigma, pois nele têm-se as respostas para os problemas. Nesta fase, realizam-se as inferências sobre o problema e realizam-se os respectivos testes de hipóteses para comprovação das inferências. Na maioria das vezes trata-se da fase que demanda em termos de tempo, a maior parcela se comparada com as outras fases.

Segundo Werkema (2002), nesta fase deverão ser determinadas as causas fundamentais do problema prioritário associado a cada uma das metas definidas na fase anterior, ou seja, para cada meta deve ser respondida a pergunta: Por que o problema prioritário existe?

2.5.4 Fase Aprimorar

Nesta fase, colocam-se em prática as soluções potenciais escolhidas para serem testadas. Trata-se da fase onde se planejam as soluções, e também a de maior expectativa, tanto por

parte dos *Green ou Black Belts*, quanto dos donos do processo e demais integrantes, explorando na prática a verificação da eficácia de boa parte do experimento executado.

Segundo Werkema (2002), na quarta fase, devem ser geradas idéias sobre soluções potenciais para eliminação das causas fundamentais do problema prioritário detectadas na fase analisar.

2.5.5 Fase Controlar

A Fase Controlar possui como finalidade garantir que o processo irá operar dentro dos limites de especificação com uma mínima variação, minimizando a necessidade de novos ajustes no processo.

A quinta fase consiste na avaliação do alcance da meta em larga escala. Com esse objetivo, os resultados após a ampla implementação das soluções devem ser monitorados para a confirmação do alcance do sucesso.

A implementação correta da metodologia Seis Sigma por meio das cinco fases faz com que a empresa atinja importantes resultados, além de criar uma identidade comum entre os processos no que diz respeito à metodologia utilizada para prover melhorias. Cada fase deve ser seguida na íntegra para que os resultados apareçam de forma rápida e consistente.

2.6 PRINCIPAIS FERRAMENTAS DAS FASES DO DMAIC

As ferramentas estatísticas citadas a seguir, referem-se às principais utilizadas nos processos onde se dedica a redução das respectivas variabilidades. Estas serão exploradas de forma tornar suas utilizações mais facilmente compreensíveis e aplicáveis.

A tabela 14 demonstra a correlação das ferramentas da qualidade com as fases do DMAIC.

As ferramentas estatísticas utilizadas para o desenvolvimento do Seis Sigma compreendem uma série de opções para tratamento dos dados, desde as mais simples, como um plano de controle até as mais complexas como o delineamento de experimentos. Em detrimento da existência de inúmeras ferramentas, utilizar a mais apropriada para cada fase, promoverá o

adequado andamento do projeto, inclusive com reduções importantes no tempo de execução das fases do DMAIC. Portanto, conhecer profundamente as ferramentas usuais para resolução dos problemas é uma condição fundamental para o aprimoramento contínuo da qualidade.

2.6.1 Mapa de Raciocínio e Charter do Projeto

A figura 8 trata de uma documentação progressiva da maneira que se raciocina durante a execução de um trabalho ou projeto.

O mapa de raciocínio deve conter:

- a meta inicial do projeto;
- as questões que a equipe precisou responder durante o desenvolvimento do projeto;
- o que foi feito para responder as questões e as respostas;
- novas questões, novos passos, novas respostas.

2.6.2 Charter do Projeto

Segundo Werkema (2002), o charter do projeto conforme tabela 4, deve conter os seguintes tópicos:

- qual o problema considerado?
- quais indicadores ou metas são utilizados para medir o problema?
- qual é a diferença entre o valor atual para cada indicador e o valor almejado?
- onde o problema é observado?
- quando o problema é observado?
- qual será o impacto da solução do problema?
- quais serão os ganhos financeiros resultantes da solução do problema?
- quais as consequências se o problema não for resolvido?

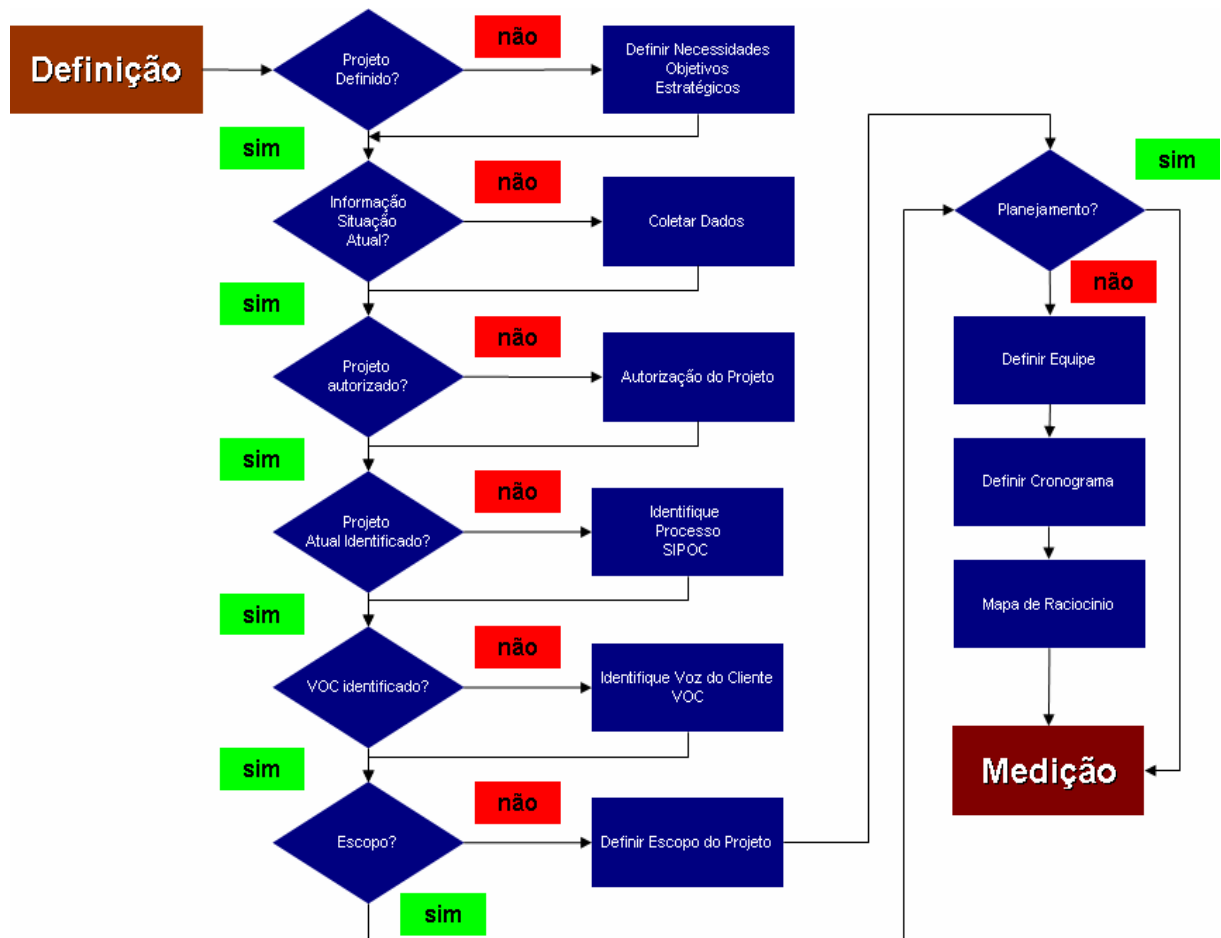


FIGURA 8 – EXEMPLO DE MAPA DE RACIOCÍNIO COM INTERAÇÃO ÀS FASES DO DMAIC.
 FONTE: adaptada de Werkema, 2002

Segundo Pande; Neuman; Cavanagh (2001), a partir da experiência com a implementação do Seis Sigma em várias empresas, incluindo a GE, a descrição do problema é importante para:

- Garantir que a equipe responsável pelo desenvolvimento do projeto entendeu corretamente a situação apresentada no estudo de caso;
- Consolidar os pontos de consenso entre a equipe e as responsabilidades de seus membros;
- Garantir que o projeto é adequado como um projeto Seis Sigma;
- Estabelecer o patamar inicial dos indicadores usados para medir o problema que será utilizado como base de comparações para avaliação dos resultados alcançados com o projeto.

TABELA 4 – MODELO DE CHARTER DO PROJETO SEIS SIGMA

Enunciado do projeto:		Setor:	
Divisão:		Tipo de projeto:	
Família de produtos e serviços:		Sponsor e ou Proprietário	
Black Belt:		Tem Member:	
Champion:		Data alvo para completar o projeto:	
Data de início do projeto:			
Elementos			
1. Definição do problema:			
3. Clientes e CTQs:			
2. Processo impactado:			
4. Benefícios para a empresa:			
5. Restrições:			
6. Escopo do projeto:			
7. Objetivos e métricas:			
8. Outras metas:			
9. Benefícios econômicos do projeto			
10. Agenda:			
11. Data da apresentação final			

FONTE: adaptada de Campos, 2005

2.6.3 Gráfico Seqüencial

Trata-se de um gráfico de dados ao longo do tempo utilizado para verificar as tendências ao longo do processo, podendo indicar a presença de causas especiais de variação. Um processo fora de controle é caracterizado por problemas não constantes, cujas causas devem ser pesquisadas, eliminadas e ou minimizadas. As figuras 9, 10, 11, 12, 13 e 14 exemplificam alguns tipos de gráficos seqüenciais:

a) a figura 9 mostra pontos com tendência consecutiva ascendente ou descendente, com alteração progressiva no nível (média) da característica da qualidade.

Possíveis causas especiais: desgastes de ferramentas; mudança das condições ambientais (temperatura, umidade); mudança de parâmetros do processo.

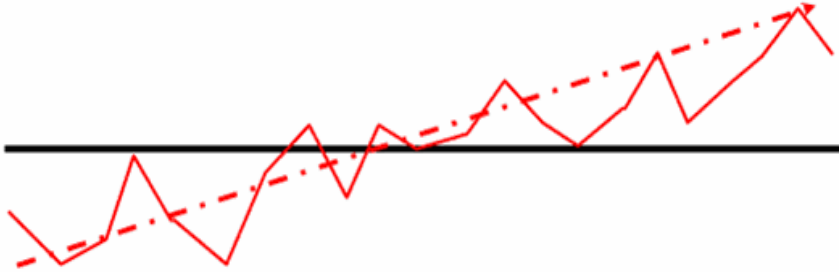


FIGURA 9 – GRÁFICOS SEQÜENCIAIS
FONTE: adaptada de Werkema, 2002

b) a figura 10 mostra a mudança brusca ou pulo no nível (média) da característica de qualidade.

Possíveis causas especiais: mudança nas condições de operação do processo; matérias-primas diferentes; nível de conhecimento operacional diferenciado significativamente e ou metodologia diferente sendo utilizada.

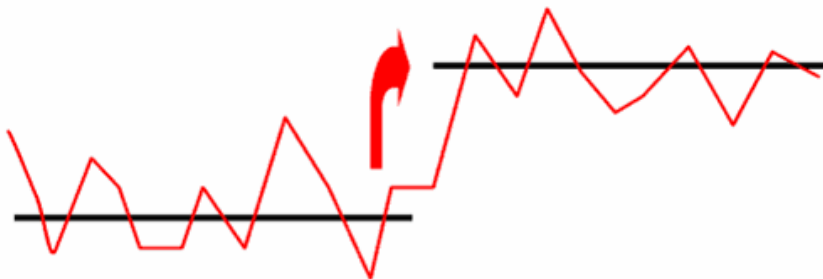


FIGURA 10 – MUDANÇA BRUSCA DE NÍVEL
FONTE: adaptada de Werkema, 2002

c) a figura 11 mostra a variação periódica formando ciclos que se repetem.

Possíveis causas especiais: alterações de matérias-primas com repetições periódicas, situações ligadas a ocorrências psicológicas, ambientais, físicas, químicas ou mecânicas, também em ciclos não definidos.

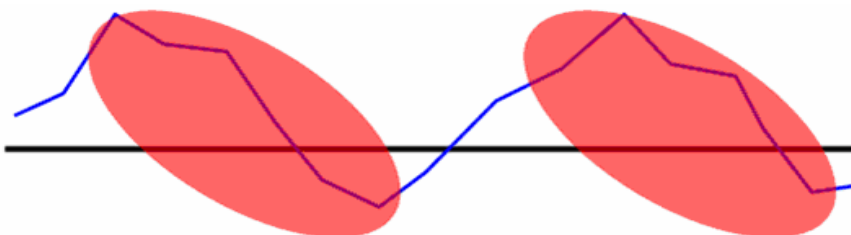


FIGURA 11 – VARIAÇÃO PERIÓDICA DE CICLOS
FONTE: adaptada de Werkema, 2002

d) a figura 12 mostra a alteração brusca na amplitude de variação.

Possíveis causas especiais: no aumento na amplitude, casos relacionados a operador inexperiente ou treinado inadequadamente; utilização de matéria-prima menos nobre. Na diminuição da amplitude ocorre justamente o contrário do aumento da amplitude. É possível ainda que ambas as ocorrências apresentem-se com maior frequência em um mesmo processo, alterando-se a amplitude de tempos em tempos.

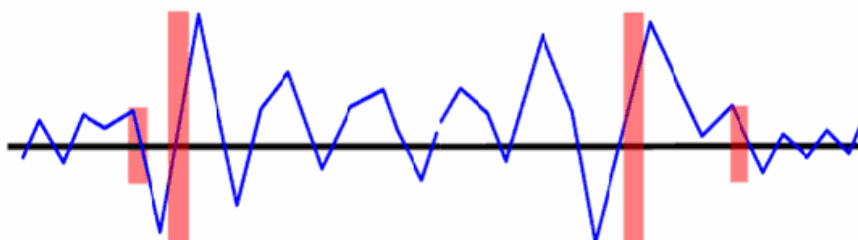


FIGURA 12 – ALTERAÇÃO BRUSCA DE AMPLITUDE
FONTE: adaptada de Werkema, 2002

e) a figura 13 mostra a alteração gradual na amplitude de variação.

Possíveis causas especiais: no aumento da amplitude – operador com menos habilidade na operação, realização de movimentos repetitivos; utilização de matéria-prima menos nobre. Na diminuição da amplitude ocorre o inverso do aumento da amplitude, portanto, sendo melhor para o processo.

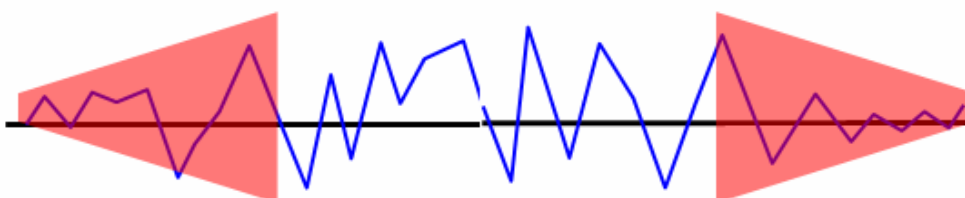


FIGURA 13 – ALTERAÇÃO GRADUAL NA AMPLITUDE DE VERIFICAÇÃO
FONTE: adaptada de Werkema, 2002

f) a figura 14 mostra a presença de pontos isolados, distantes da maioria dos dados.

Possíveis causas especiais: falhas em cálculos, medições ou na cópia de dados, equipamentos sem a correta calibração³ ou sem ela, falta de controle do processo por espaço curto de tempo, problemas nos equipamentos, porém com correções imediatas, coleta de amostra de processos misturados.

³ Calibração: Conjunto de operações que estabelecem, sob condições especificadas, a relação entre os valores indicados por um instrumento de medição ou sistema de medição, valores representados por uma medida materializada ou um material de referência, e os valores correspondentes das grandezas estabelecidas por padrões.
Fonte: Oliveira, 2008

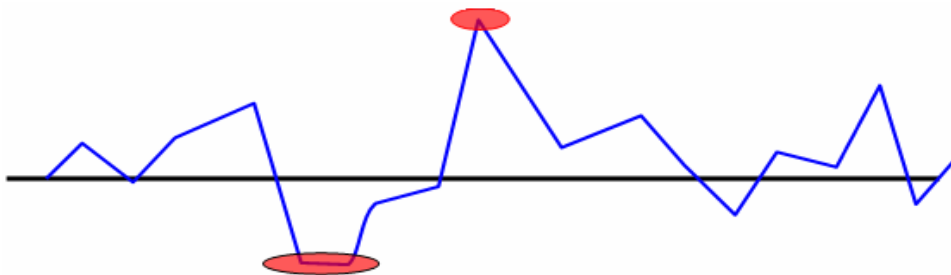


FIGURA 14 – PRESENÇA DE PONTOS ISOLADOS
 FONTE: adaptada de Werkema, 2002

2.6.4 Plano de Controle

Plano de controle conforme mostra a figura 15, considera os itens de controle de um determinado processo ou produto. Comporta uma série de informações importantes para uma análise estatística adequada e, geralmente, apresentam as seguintes informações básicas:

- característica a ser controlada;
- tolerância da especificação;
- método de Controle;
- resultado;
- executor da característica analisada;
- hora e Observações do apontamento.

Plano de Controle									
Plano de Controle Número				Elaborador			Data de Criação		Data da Revisão
Código do Produto				Fornecedor			Código do Fornecedor		
Características				Métodos					
Nº da Característica	Qualitativa	Quantitativa	Característica Especial ?	Tolerância/especificação	Técnica de Avaliação/ Medição	Amostra		Método de Controle	Resultado
						Tamanho	Freq.		

FIGURA 15 – PLANO DE CONTROLE
 FONTE: adaptada de Campos, 2005

2.6.5 Análise de Séries Temporais

Segundo Werkema (2002), as técnicas estatísticas de previsão baseadas em Séries Temporais modelam matematicamente o comportamento futuro do fenômeno analisado, relacionando os dados históricos do próprio fenômeno com o tempo.

Séries Temporais são seqüências cronológicas de observações de uma variável de interesse, nas quais os dados da série são igualmente espaçados.

Se as observações são feitas sobre algum fenômeno no decorrer do tempo, deve-se utilizá-las de acordo com a ordem na qual elas surgem particularmente, sucessivas observações serão provavelmente dependentes.

Componentes de uma Série Temporal:

- tendência: descreve um movimento suave de longo prazo, notado pela inclinação ascendente ou descendente de uma linha;
- ciclo: variações que apresentam certa regularidade, um padrão, nos dados que podem durar vários anos antes de se repetir;
- sazonalidade: variações repetidas em um prazo relativamente curto (menos de um ano), em geral relacionado com a época do ano ou feriados;
- flutuação aleatória ou ruído: resulta de variação aleatória ou causas não explicadas, trata-se de um incidente reativamente imprevisível.

Verifica-se por meio da figura 16, um exemplo de Série Temporal para o aumento do preço do leite ao longo dos anos e ciclo de vendas projetado para o futuro.

2.6.6 VOC – Voice of the Customer

Segundo Werkema (2002), a VOC - Voice of the Customer (Voz do Cliente) é utilizada para descrever as necessidades e expectativas dos clientes e consumidores e suas percepções quanto aos produtos da empresa.



FIGURA 16 – GRÁFICO TEMPORAL
FONTE: evolução do preço do leite, 2008

Na tabela 5, tem-se um exemplo de planilha. Na coluna à esquerda, a expectativa do cliente, na coluna do meio, as questões-chaves para facilitação da interpretação da expectativa, e na coluna à direita, as características críticas ou requisitos do cliente.

TABELA 5 – TRADUÇÃO DA VOZ DO CLIENTE EM REQUISITOS

Traduzir a Voz do Cliente em Requisitos		
VOC – Voz do Cliente	Questões Chave ou Listas Centrais	CTQ – Características Críticas para Qualidade
Tinta seca rápido	Solvente com rápida evaporação	Taxa de evaporação
Tinta sem cheiro	Tinta sem cheiro	% de solvente orgânico

FONTE: adaptada de Campos, 2005

2.6.7 SIPOC – *Suppliers, Inputs, Process, Outputs e Customers*

Segundo Werkema (2002), o SIPOC conforme demonstrado na tabela 6 é um diagrama que possui como objetivo principal, definir o processo envolvido no projeto e conseqüentemente, facilitar a visualização do escopo do trabalho.

O SIPOC detalha as entradas e saídas do processo analisado, onde:

- S – Suppliers: Fornecedores – Listam-se os fornecedores das entradas respectivas a este passo do processo;
- I – Inputs: Entradas – Listam-se as variáveis de entrada (x) deste passo do processo.
- P – Process: Processo – Passos do processo;
- O – Outputs: Saídas – Listam-se as variáveis de saída (y) respectivas a este passo do processo;
- C – Customers: Clientes – Listam-se os clientes que receberão as saídas deste passo do processo.

TABELA 6 – EXEMPLO DE PLANILHA SIPOC

Supplier	Input	Process	Output	Customer
Fornecedor es	Entradas - x's	Passos do processo	Saídas - y's	Clientes
		Passo A		
		Passo B		
		Passo C...		

FONTE: adaptada de Campos, 2005

2.6.8 MSA – *Measurement Systems Analysis*

Conforme Vieira e Wada (1991), utilizar a estatística para entender as variações do sistema de medição é uma prática assertiva quando se pretende minimizar as variações do processo.

Portanto, a Análise do Sistema de Medição (MSA) é definida como o conjunto de operações, procedimentos, dispositivos de medição, equipamentos, software e pessoal, utilizados para

atribuírem um número à característica que está sendo medida. As propriedades estatísticas de um sistema de medição podem ser enquadradas em duas categorias:

Primeira: As medidas de localização (ou de proximidade com o valor correto), que são a Tendência (desvio), Estabilidade e Linearidade:

- Tendência verificada por meio do gráfico 1 é estudo do erro de exatidão que um equipamento de medição por variáveis possui em um determinado ponto de sua escala. A grande diferença com relação à simples calibração é que a tendência deve ser estudada a partir de dados coletados no próprio processo, ou seja, sobre influência da medição natural do dia-a-dia. A análise de tendência evidencia se os recursos para medição estão corretamente dimensionados, pois equipamentos muito sofisticados podem estar sendo utilizados para medições que não requerem tal necessidade, ou equipamentos simples demais para medições complexas que requerem muita precisão. O resultado da análise de tendência, quando bem aplicada, resulta no aumento de confiabilidade e redução dos custos na compra de equipamentos.

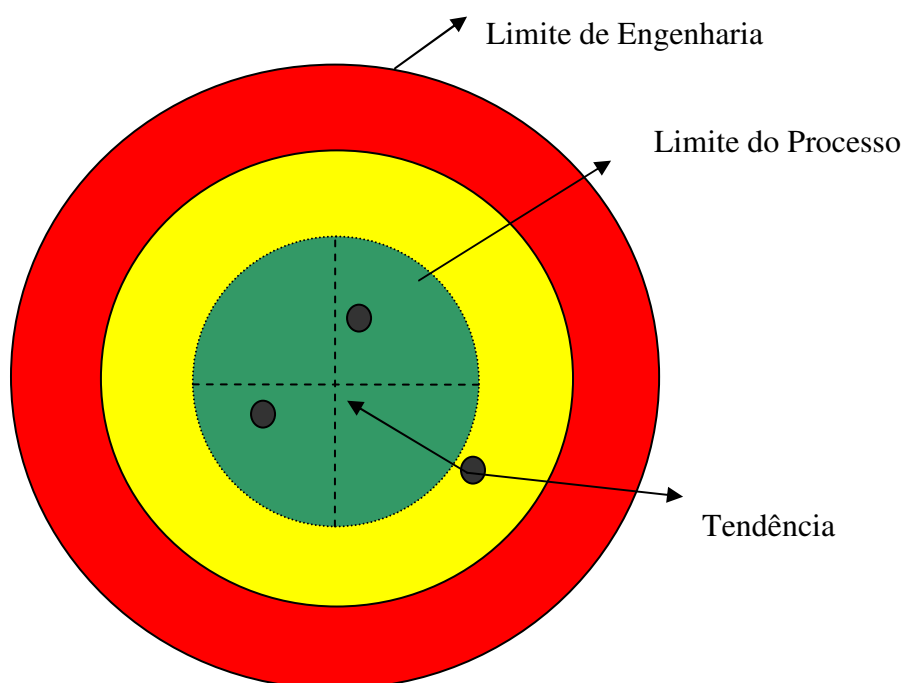


GRÁFICO 1 – TENDÊNCIA
FONTE: análise do sistema de medição, 2008

- Estabilidade verificada por meio do gráfico 2 é o estudo da variação dos resultados de medições realizadas ao longo de um período. É utilizado para analisar a degradação dos resultados de um sistema de medição ao longo do tempo. Devido à instabilidade natural dos processos, presume-se que os sistemas de medição percam sua confiabilidade com o passar do tempo. Para a gestão metrológica, o principal benefício é substituir a calibração dos equipamentos de medição pelo estudo de estabilidade, já que este é muito mais simples e econômico, obtendo, assim, redução de custo por meio do ajuste de frequência da calibração.

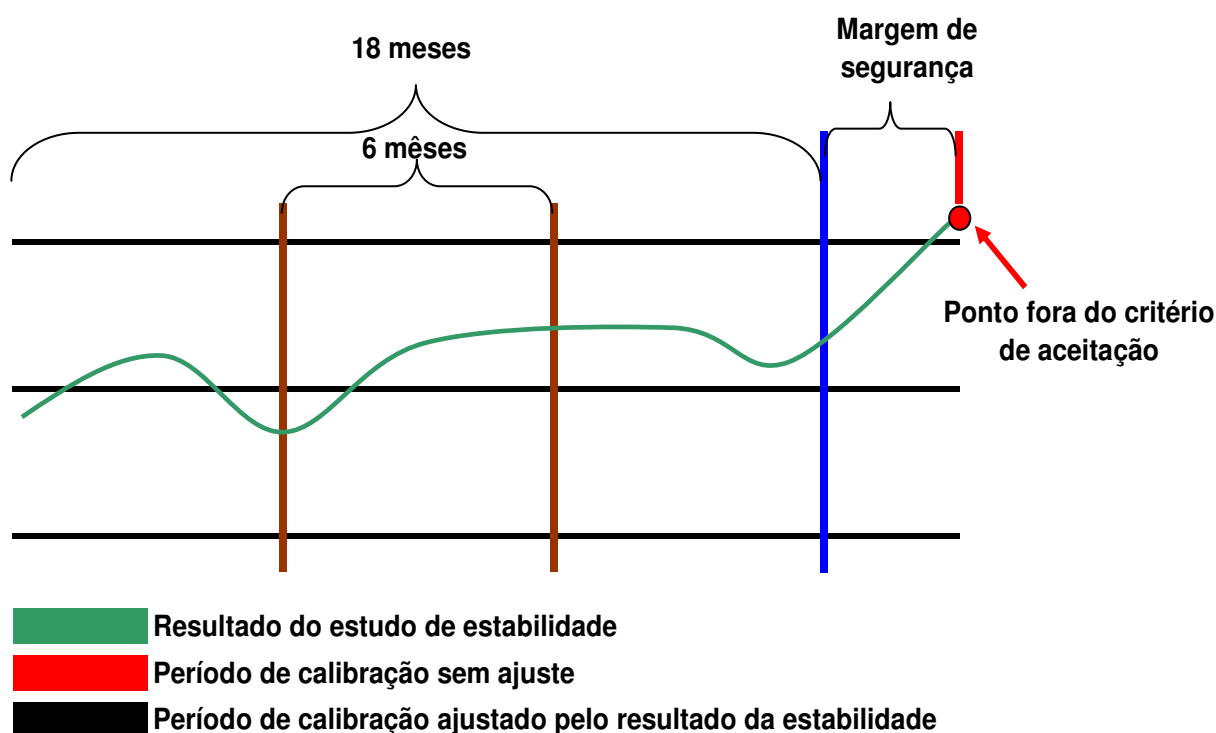


GRÁFICO 2 - ESTABILIDADE
FONTE: análise do sistema de medição, 2008

- Linearidade verificada por meio do gráfico 3 é o estudo da variação dos resultados de medições ao longo da escala do equipamento. É utilizado para avaliar se os resultados de medição são confiáveis em qualquer ponto da escala do equipamento. Este estudo aplica-se somente para equipamentos por variáveis, ou seja, que possuam escala. O fato de ser uma análise estatística permite a redução dos pontos de avaliação quando da calibração do equipamento, pois a linearidade estende os resultados de um ponto para todos os demais. O resultado definiu-se com o aumento da confiabilidade e redução de custo por meio da diminuição dos pontos de calibração.

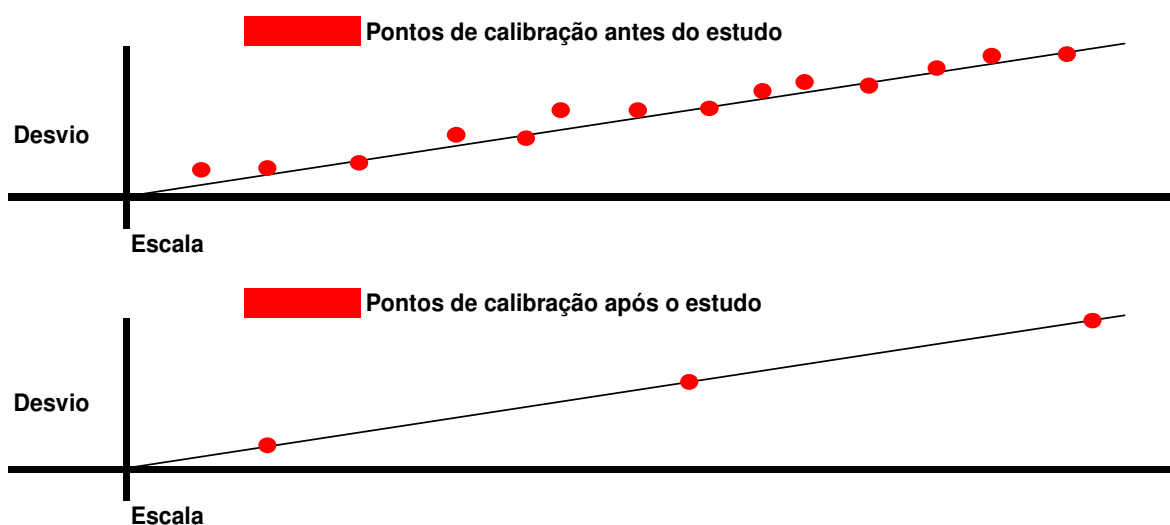


GRÁFICO 3 – LINEARIDADE
FONTE: análise do sistema de medição, 2008

Segunda: As medidas de Dispersão (largura) que são a Repetitividade e a Reprodutibilidade:

- Repetibilidade verificada por meio do gráfico 4 é o estudo da variação dos resultados de medições realizadas diversas vezes pelos mesmos operadores, utilizando o mesmo equipamento. É utilizado para analisar o grau de confiabilidade que um sistema de medição tem quanto à sua capacidade de repetir os resultados de uma medição. Por meio desse estudo é possível determinar a robustez de um sistema de medição. Um sistema de medição robusto sofre pouca influência de agentes externos. Conhecer a repetibilidade faz com que a gestão do monitoramento e medição seja mais eficaz, deslocando sistemas mais confiáveis para onde é requerido, obtendo, como resultado, o aumento de confiabilidade e redução de custo.

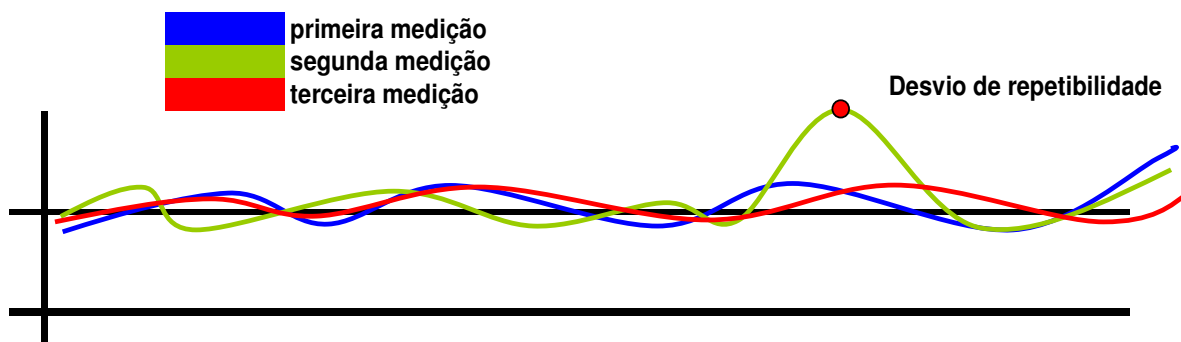


GRÁFICO 4 – REPETIBILIDADE
FONTE: análise do sistema de medição, 2008

- Reprodutibilidade verificada por meio do gráfico 5 é o estudo da variação dos resultados de medições realizadas diversas vezes por operadores diferentes, utilizando o mesmo equipamento. É utilizada para identificar a variação que existe entre um operador e outro, verificando assim a influência do operador no resultado da medição. Este estudo tem por objetivo saber se a qualquer momento o resultado da medição é ou não confiável. Dependendo da forma como o resultado é apresentado no gráfico é possível identificar claramente os pontos falhos, restringindo as ações e canalizando as ações de melhoria. Podem-se substituir tais equipamentos por outros que dependam menos do fator humano, obtendo assim maior aumento de confiabilidade.

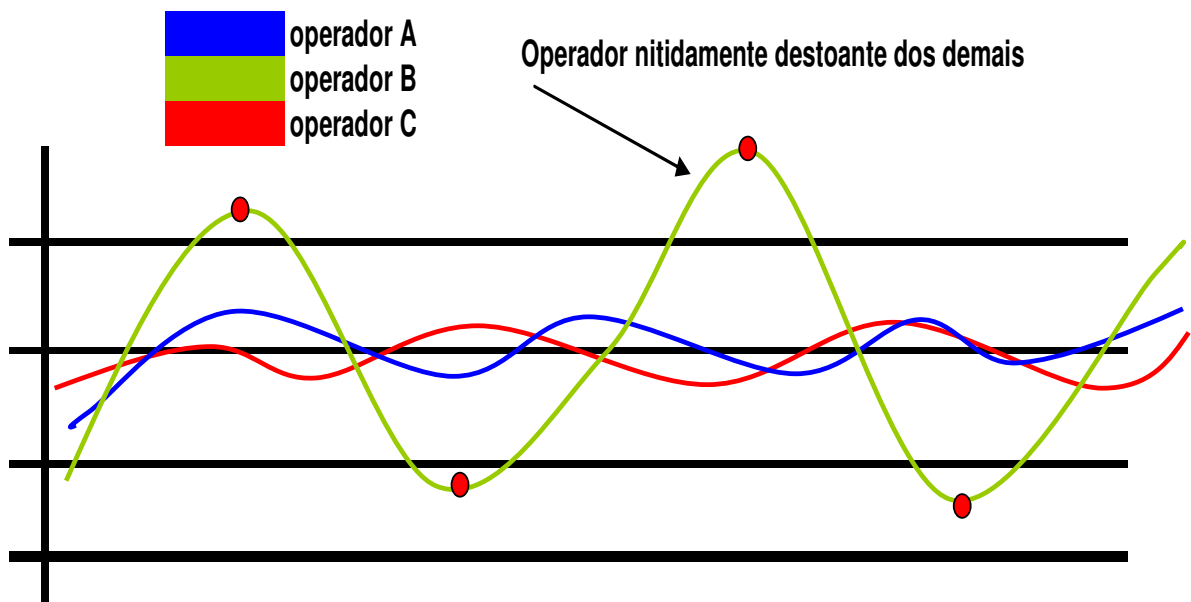


GRÁFICO 5 – REPRODUTIBILIDADE
FONTE: análise do sistema de medição, 2008

Um sistema de medição ideal é aquele que produz somente medidas corretas todas as vezes que for utilizado. Caso isso fosse possível, este sistema possuiria propriedades estatísticas com variância e tendência zero, conseqüentemente, nula probabilidade em classificar de forma errada qualquer produto controlado.

Esta realidade não existe, ou seja, na prática devem-se escolher sistemas com propriedades convenientes.

Segundo Werkema (2002), as seguintes condições são aplicáveis na Avaliação do Sistema de Medição:

- A – baixa precisão + baixa exatidão – neste caso não se tem o alvo atingido e as tentativas apresentam-se dispersas ao entorno do alvo;
- B – baixa precisão + exatidão – neste caso tem-se o alvo atingido, porém com evidências de tentativas dispersas ao redor do alvo;
- C – precisão + baixa exatidão – neste caso tem-se alta precisão do número de tentativas ao entorno do alvo, porém, o alvo não é atingido;
- D – precisão + exatidão – neste caso tem-se o alvo atingido na maioria das tentativas realizadas.

A figura 17 abaixo são exemplos de situações onde sistemas de medições apresentam-se diferentes uma das outras.

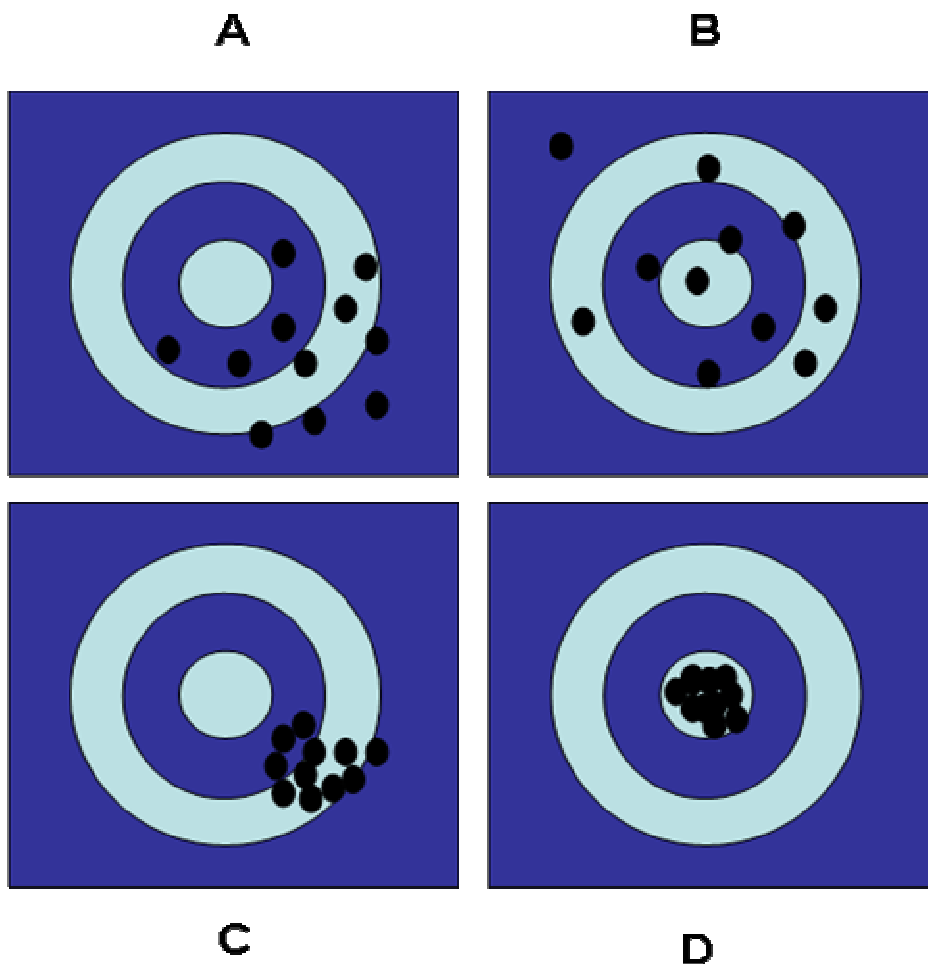


FIGURA 17 – AVALIAÇÃO PARA SISTEMAS DE MEDIÇÃO
FONTE: adaptada de Werkema, 2002

2.6.9 Plano para Coleta de Dados

Para Campos (2005), o Plano para Coleta de Dados conforme tabela 7, representa o 5W2H do processo. Estabelece uma sistemática para organizar os dados, de forma facilitar a linha de raciocínio para análise.

Utiliza-se a coleta e análise de dados para obter informações úteis no aprimoramento dos processos, assim como para reduzir a variabilidade, pois as ações devem ser tomadas sobre os fatos e os dados. Uma série de técnicas estatísticas pode ser utilizada para a identificação da melhor forma de coleta de dados.

Métodos estatísticos são pontos fundamentais, pois ao utilizar-se de técnicas estatísticas sobre os dados, retira-se o lado subjetivo e pessoal dos problemas, observando e aprimorando os processos por meio de uma forma disciplinada e objetiva.

A coleta de dados possui características importantes na composição do experimento e é responsável por atender de forma eficaz as seguintes premissas:

- tornar a decisão mais eficaz;
- identificar e resolver problemas;
- reduzir a variabilidade do processo;
- monitorar processos;
- aperfeiçoar processos.

Usualmente confunde-se o significado entre informações e dados. Tal mal entendido prejudica a construção das idéias, acarretando em acréscimo no tempo necessário para esta fase. De maneira a tornar mais clara a diferença entre informações e dados tem-se:

- Dados – são fatos, e não necessariamente incluem informações, geralmente na forma de números, símbolos ou palavras;
- Informações – incluem dados, e geralmente possuem respostas às questões levantadas.

Natureza dos Dados – A estatística é a ciência que se preocupa em organizar, descrever, analisar e interpretar os dados.

Os tipos de dados são divididos em:

- qualitativos – tipo de carro, cor da casa;
- quantitativos discretos – passíveis de se contar (165 produtos vendidos);
- quantitativos contínuos – passíveis de se medir (altura, km/h).

Para gerar as informações, são necessários os seguintes requisitos:

- formular precisamente a questão a que buscam-se as repostas;
- coletar dados e fatos relativos à questão;
- analisar os dados;
- apresentar os dados que comunique a resposta para a questão de forma clara.

Passos para planejamento adequado na coleta de dados:

- qual o problema que se quer analisar?
- como reconhecer e comunicar a resposta à questão?
- quais as ferramentas de análise a serem utilizadas e como serão comunicados os resultados?
- quais tipos de dados se necessitam? Dados contínuos ou discretos?
- em qual parte do processo os dados serão coletados?
- quem será o responsável pela coleta de dados?
- como coletar os dados com o mínimo de esforço e a mínima chance de erro?

TABELA 7 – EXEMPLO DE PLANO PARA COLETA DE DADOS

Tipo de medida (entrada/ saída/ processo)	Tipo de dados (Contínuos ou Discretos)	Definição operacional (O quê)	Definição Operacional (Como)	Responsabilidades	Data/ Tempo de frequência	Local

FONTE: adaptada de Campos, 2005

2.6.10 Diagrama de Pareto

Segundo Campos (2003), o Gráfico de Pareto ajuda a determinar qual a ordem em que os problemas devem ser resolvidos levando em consideração a frequência de ocorrência. Trata-se de uma técnica que separa os poucos problemas vitais, dos muitos triviais, indicando a importância relativa de cada categoria de problema por meio de barras dispostas em ordem decrescente. Geralmente a barra mais alta é a da esquerda e representa as categorias de problemas a serem trabalhados primeiro. Para complementar, usa-se uma linha cumulativa que mostra a soma percentual das barras.

Na figura 18, um exemplo de Pareto para os diferentes tipos de parada que ocorrem em uma determinada máquina de envase.

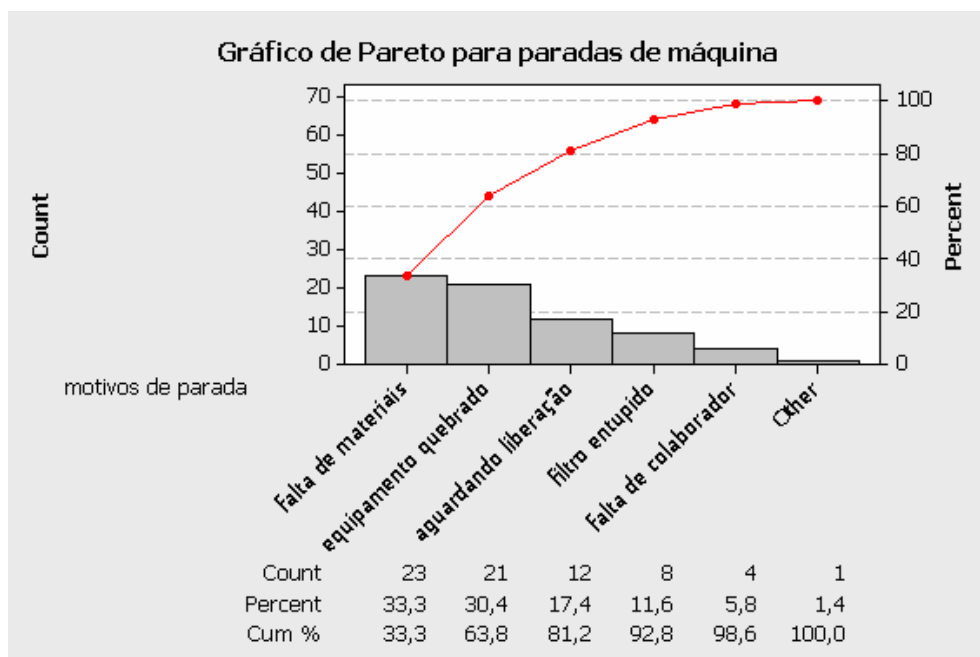


FIGURA 18 – GRÁFICO DE PARETO

FONTE: reprodução gráfica gerada pelo software *Minitab*.

2.6.11 Gráfico Seqüencial

O gráfico seqüencial conforme mostra a figura 19, é um diagrama utilizado para evidenciar os valores individuais do resultado de um processo em função do tempo.

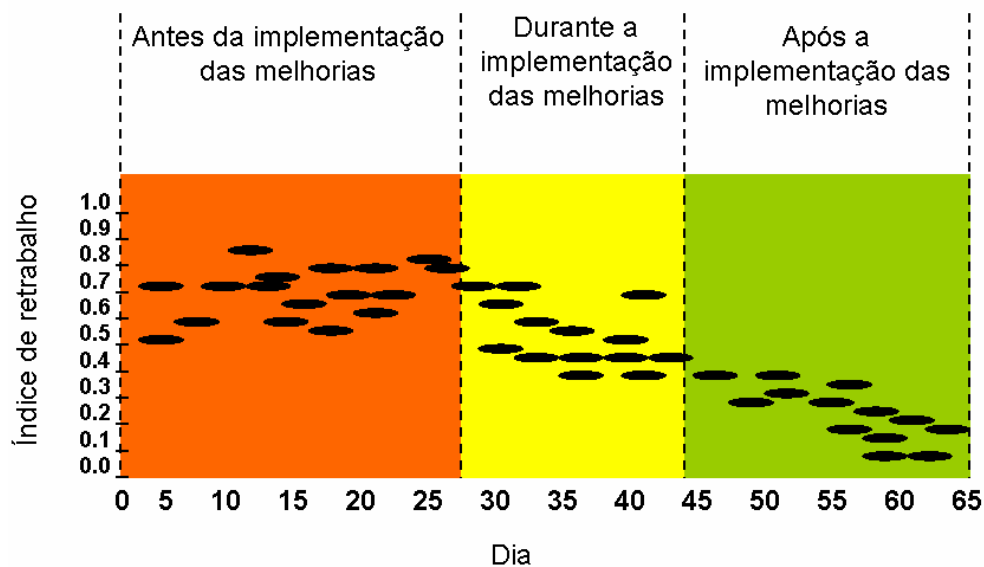


FIGURA 19 – GRÁFICO SEQÜENCIAL
 FONTE: adaptada de Werkema, 2002

2.6.12 Histograma

Segundo Werkema (2002), o histograma é um gráfico de barras que dispõe as informações de modo que seja possível a visualização da distribuição de um conjunto de dados de um fenômeno analisado e a percepção da localização do valor central e da dispersão dos dados em torno deste. A comparação de histogramas com os limites de especificação permite avaliar se um processo está centrado no valor nominal e se é necessário adotar alguma medida para reduzir a variabilidade desse processo.

As figuras 20, 21, 22, 23, 24 e 25 são exemplos de histogramas.

Características da figura 20: a maior ocorrência localiza-se ao meio e diminui gradualmente nas laterais em forma de sino. A média e a mediana são aproximadamente iguais e localizam-se no centro do histograma.

Quando ocorre: a maior ocorrência se dá em processos estáveis com características de dados contínuos.

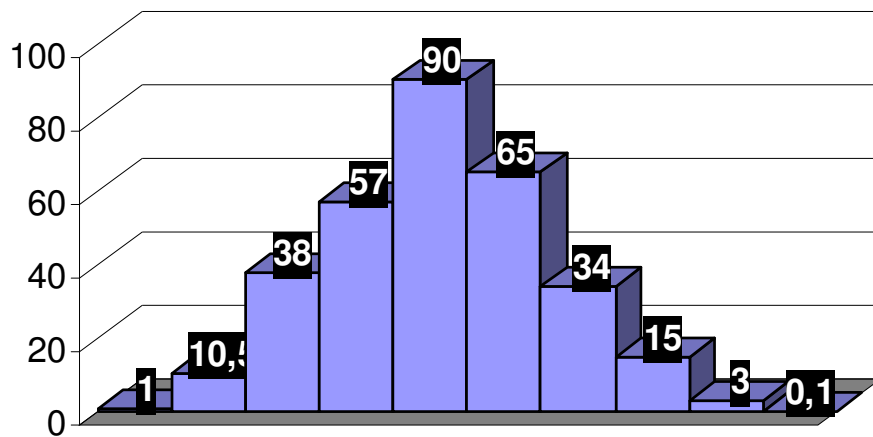


FIGURA 20 – HISTOGRAMA SIMÉTRICO OU NORMAL
FONTE: adaptada de Werkema, 2002

Características da figura 21: a ocorrência decresce rapidamente em um dos lados e gradualmente do outro, produzindo uma calda mais longa em um dos lados. A média localiza-se fora do meio da faixa de variação. Quando a assimetria é à direita, a mediana é inferior à média. Quando a assimetria é à esquerda a mediana é superior à média.

Quando ocorre: possivelmente a característica de qualidade tem apenas um limite de especificação e é controlada durante o processo, de modo que satisfaça a essa especificação.

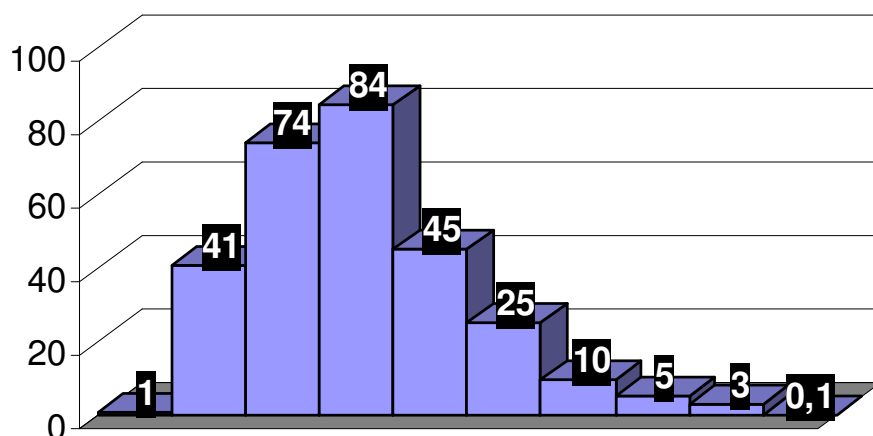


FIGURA 21 – HISTOGRAMA ASSIMÉTRICO E COM UM PICO
FONTE: adaptada de Werkema, 2002

Características da figura 22: o histograma termina repentinamente em um, ou dos dois lados, causando a impressão da falta de um de seus lados.

Quando ocorre: possivelmente foram eliminados dados por uma inspeção 100%; nesse caso o “corte” coincide com os limites de especificação.

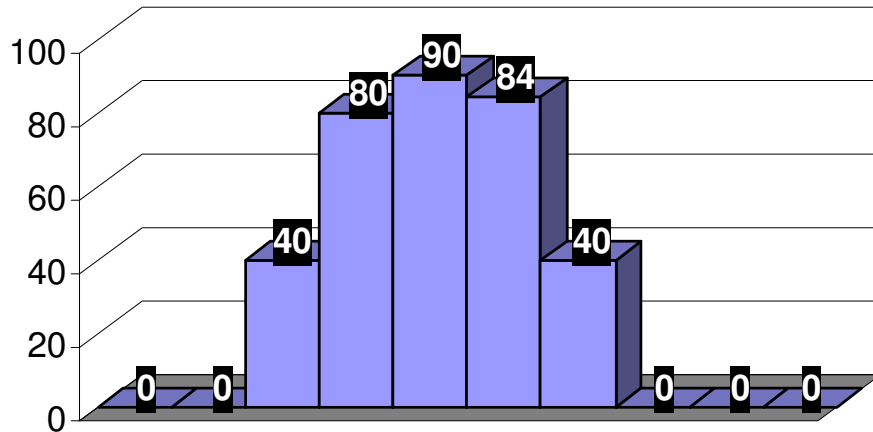


FIGURA 22 – HISTOGRAMA TIPO “DECLIVE”
FONTE: adaptada de Werkema, 2002

Características da figura 23: ocorrem dois picos e a frequência é baixa entre eles.

Quando ocorre: em situações onde há mistura de dados, com médias diferentes, obtidas em duas condições distintas. Por exemplo, dois tipos de matérias-primas, duas máquinas ou dois operadores. A estratificação segundo esses fatores poderá confirmar ou não a resolutive gráfica.

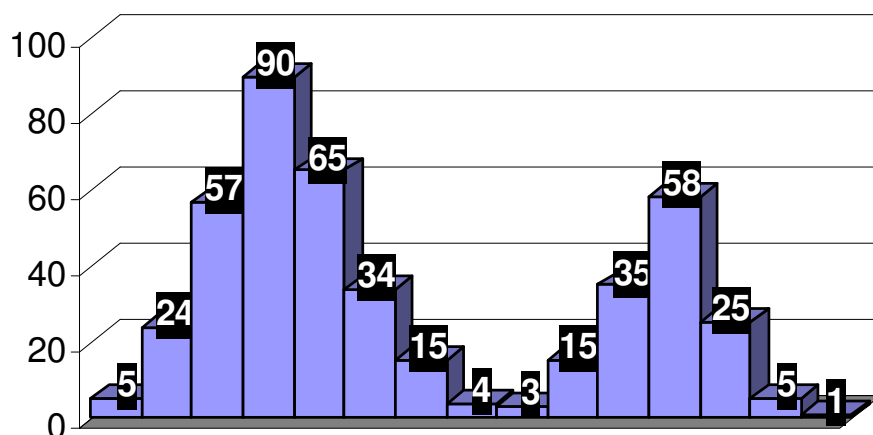


FIGURA 23 – HISTOGRAMA COM MAIS DE UM PICO
FONTE: adaptada de Werkema, 2002

Características da figura 24: classes centrais possuem aproximadamente a mesma frequência.

Quando ocorre: aspecto possível quando há mistura de várias distribuições com médias diferentes.

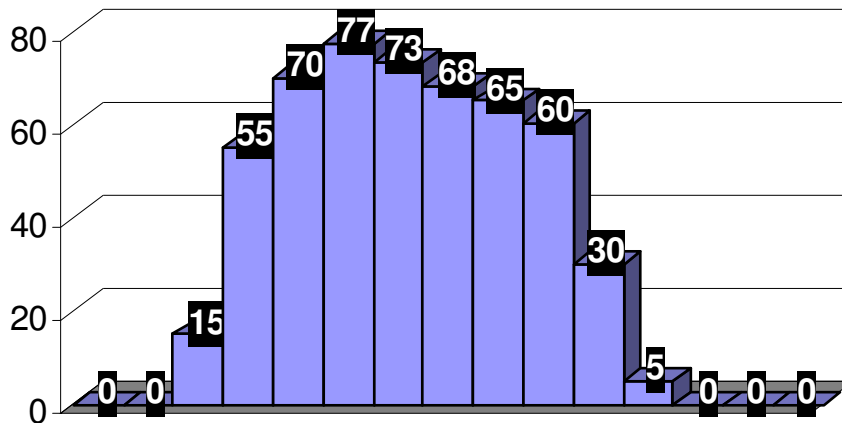


FIGURA 24 – HISTOGRAMA DO TIPO “PRATO”
FONTE: adaptada de Werkema, 2002

Características da figura 25: algumas faixas de valores da característica de qualidade observada ficam isoladas da grande maioria dos dados, gerando barras ou pequenos grupos separados.

Quando ocorre: possivelmente ocorreram por meio de anormalidades temporárias no processo, erros de medição, erros de registro ou transcrição dos dados, produzindo resultados muito diferentes dos demais. Também poder ser classificados como outliers⁴.

2.6.13 *Boxplot*

Segundo Campos (2003), o *Boxplot* ou Gráfico de Caixa, é uma ferramenta exploratória de dados que permite ter idéia sobre a localização e dispersão do conjunto de dados.

⁴ Outliers: Presença de observações discrepantes no conjunto de dados, geralmente causados por falha no processo, anotações equivocadas, desvios pontuais de matérias-primas. Na estatística são indesejados, pois interferem significativamente na análise dos dados.
Fonte: Campos (2005)

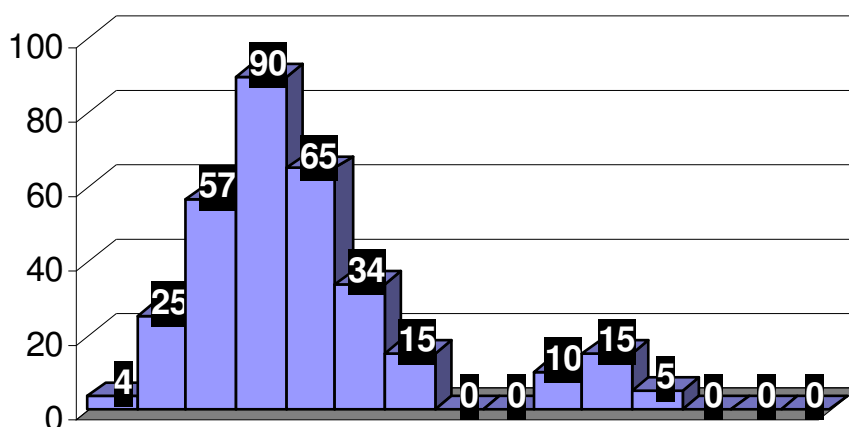


FIGURA 25 – HISTOGRAMA COM ISOLAMENTOS
 FONTE: adaptada de Werkema, 2002

A localização é representada pela mediana (linha que corta a caixa) e a dispersão pode ser visualizada pelo valor mínimo, primeiro quartil, terceiro quartil e o valor máximo, conforme figura 26, por meio dos 4 exemplos. Pode-se inserir o valor da média no *Boxplot*, por meio de um símbolo. A existência de valores discrepantes chamados de outliers é representada por asteriscos.

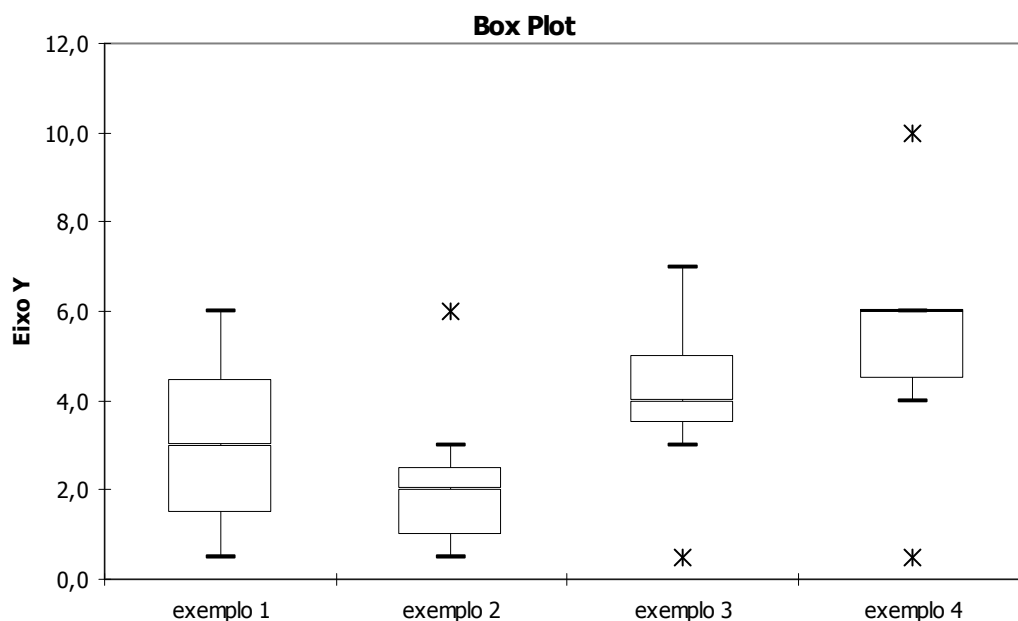


FIGURA 26 – BOXPLOT OU GRÁFICO DE CAIXA
 FONTE: próprio autor

Nota:

Mínimo: representa o menor valor medido.

Primeiro quartil: representa 25% dos valores medidos.

Mediana: representa o valor localizado exatamente ao meio quando as observações são colocadas em ordem crescente.

Terceiro quartil: representa 75% dos valores medidos.

Máximo: representa o maior valor medido.

Asterisco: representa outliers.

2.6.14 Análise Multivariada

Segundo Werkema (2002), quando o número de variáveis envolvidas no fenômeno é muito elevado, a Análise Multivariada processa as informações de modo a sintetizá-las e simplificar a estrutura dos dados.

Segundo Campos (2005), a Análise Multi-Vari utiliza ferramentas gráficas por meio da estratificação, arranjos e subgrupos, tendo como objetivo analisar a influência de diversas fontes de variação sobre uma determinada resposta Y.

Utilidade do estudo Multi-Vari conforme figura 27:

- analisar a variação dentro das unidades sendo de unidade para unidade, amostra para amostra, lote a lote e no decorrer do tempo, no caso de um processo de fabricação discreto;
- analisar a variação dentro dos turnos, entre os turnos e entre dias/semanas/ meses, no caso de um processo de fabricação contínuo;
- monitorar a variação do produto;
- visualizar e analisar o relacionamento entre duas variáveis (relação de causa e efeito);
- estudar variações que são induzidas experimentalmente;
- simultaneamente analisar múltiplas variáveis;
- estudar um processo sem quaisquer alterações ou interrupções deste;
- fornecer orientação para realização de planejamento de experimentos, análise de regressão e teste de hipóteses;
- análises gráficas passivas e históricas.

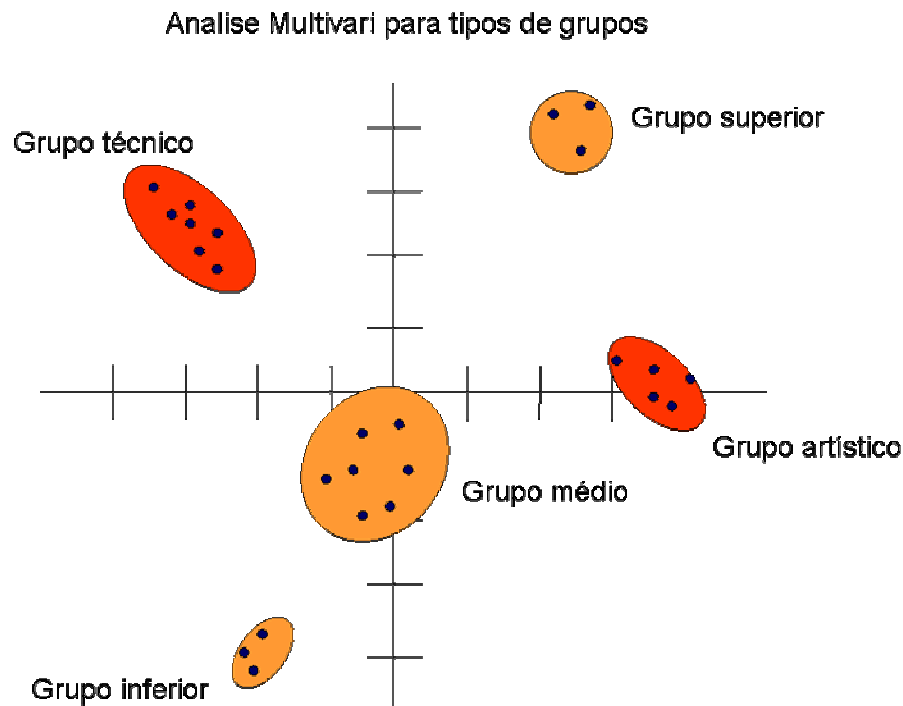


FIGURA 27 – ANÁLISE MULTI-VARI
 FONTE: adaptada de Werkema, 2002

2.6.15 Mapa do Processo

Segundo Campos (2005), o Mapeamento do Processo é uma descrição gráfica do mesmo, demonstra-se a seqüência das atividades desenvolvidas para a realização de um propósito específico, identificando os (x;y) dos passos do processo. O Mapeamento dos Processos descreve, de forma lógica e interconectada, os passos (atividade) necessários para a finalização de uma operação. Também permite uma análise crítica dos processos existentes, por exemplo:

- a complexidade é necessária?
- simplificações são possíveis?
- o processo é eficaz?
- o trabalho executado é eficiente?
- os custos estão adequados?
- existe excesso de transferência interdepartamental?

O Mapeamento do Processo é importante, pois fornece informações para construção da matriz de causa e efeito e do FMEA (apresentado no item 2.6.16) e pode representar uma

das três situações: como o processo foi concebido, como o processo realmente opera ou como o processo deve ser. Abaixo na figura 28, um exemplo de figuras utilizadas no Mapeamento do Processo.

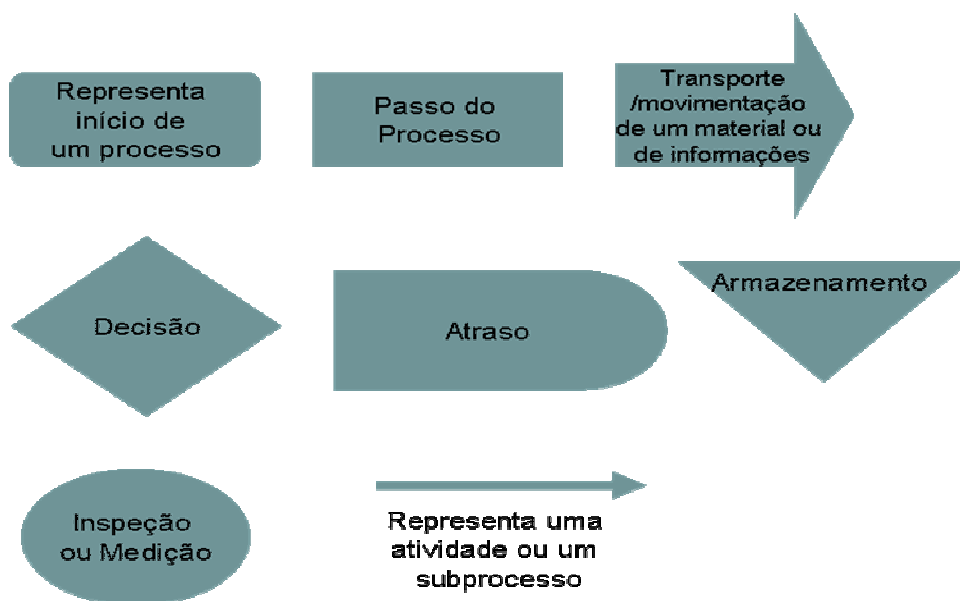


FIGURA 28 – SÍMBOLOS USUAIS DO MAPEAMENTO DO PROCESSO
FONTE: próprio autor

2.6.16 FMEA – *Failure Mode and Effect Analysis*

Segundo Werkema (2002), o FMEA – *Failure Mode and Effect Analysis* (Análise de Efeitos e Modos de Falhas), é uma ferramenta que possui como objetivo identificar, hierarquizar e prevenir as falhas potenciais de um produto ou processo. Suas principais utilizações são:

- identificação das variáveis críticas que podem afetar a qualidade de saída de um processo;
- avaliação dos riscos associados às falhas;
- auxílio para elaboração de suposições sobre o tipo de relacionamento entre as variáveis de um processo;
- avaliação de prioridades para coleta de dados e realização de estudos quantitativos para a descoberta das causas fundamentais de um problema.

Conforme tabela 8, verifica-se um exemplo de planilha utilizada para a análise do FMEA.

TABELA 8 – EXEMPLO DE PLANILHA DE FMEA

FMEA:		Nº:		Responsável:		Telefone:									
Data início:		Revisão:		Preparado por:											
Equipe:															
Função do processo Requisitos	Modo de Falha Potencial	Efeito(s) Potencial(is) da Falha(s)	Severidade	Causa(s) e Mecanismo(s) Potencial(is) da Falha(s)	Ocorrência	Controles Atuais do Processo	Detecção	NPR	Ações Recomendadas	Responsável e Prazo	Resultado das Ações				
											Ações Tomadas	Severidade	Ocorrência	Detecção	NPR

FONTE: adaptada de Campos, 2005

As tabelas 9,10 e 11 são uma orientação para o cálculo do NPR - *Risk Priority Number*, ou Prioridade do Risco, levando em consideração a Severidade, Ocorrência e Detecção.

O cálculo do NPR, conforme tabela 9, retrata o grau de importância a qual o determinado modo de falha está associado. O cálculo para se encontrar o NPR se dá pela multiplicação da Severidade, Ocorrência e Detecção.

A tabela 9 é recomendada para cálculo da Severidade.

TABELA 9 – TABELA DE SEVERIDADE

Efeito	Severidade do Efeito – Esta classificação e o resultado de quando um modo de falha potencial resulta em um defeito no cliente final e ou na planta de manufatura/montagem. O cliente final deveria ser sempre considerado primeiro. Se ambos ocorrerem, usar a maior das duas severidades. (Efeito no Cliente).	Severidade do Efeito – Esta classificação e o resultado de quando um modo de falha potencial resulta em um defeito no cliente final e/ou na planta de manufatura/montagem. O cliente final deveria ser sempre considerado o primeiro. Se ambos ocorrerem, usar a maior das duas severidades. (Efeito na Manufatura/Montagem)	Índice de Severidade
Perigoso sem aviso prévio	Índice de severidade muito alto quando o modo de falha potencial afeta a segurança na operação do veículo e ou envolve não-conformidade com a legislação governamental sem aviso prévio.	Ou pode por em perigo o operador (maquina ou montagem) sem aviso prévio.	10

continua

continuação

TABELA 9 – TABELA DE SEVERIDADE

Efeito	Severidade do Efeito – Esta classificação e o resultado de quando um modo de falha potencial resulta em um defeito no cliente final e ou na planta de manufatura e montagem. O cliente final deveria ser sempre considerado primeiro. Se ambos ocorrem, usar a maior das duas severidades. (Efeito no Cliente).	Severidade do Efeito – Esta classificação e o resultado de quando um modo de falha potencial resulta em um defeito no cliente final e/ou na planta de manufatura/montagem. O cliente final deveria ser sempre considerado o primeiro. Se ambos ocorrerem, usar a maior das duas severidades. (Efeito na Manufatura e Montagem)	Índice de Severidade
Muito alto	Veículo/Item inoperável (perda das funções primária).	Ou 100% dos produtos podem ter que ser sucateados, ou o veículo e item reparado no departamento de reparo com um tempo de reparo maior que uma hora.	8
Alto	Veículo/item operável, mas com níveis de desempenho reduzido. Cliente muito insatisfeito.	Ou os produtos podem ter que ser selecionados e uma parte (menor que 100%) sucateada, ou o veículo/item reparado no departamento de reparo com um tempo de reparo entre 0,5 hora e 1 hora.	7
Moderado	Veículo/item operável, mas item (s) de Conforto/Conveniência inoperável (is). Cliente insatisfeito.	Ou uma parte (menor que 100%) dos produtos podem ter que ser sucateados sem seleção, ou o veículo/item reparado no departamento de reparo com um tempo de reparo menor que 0,5 hora.	6
Baixo	Veículo/item operável, mas item(s) de Conforto/Conveniência operável(is) com níveis de desempenho reduzidos.	Ou 100% dos produtos podem ter que ser retrabalhados, ou veículo/item reparado fora da linha mas não vai para o departamento de reparo.	5
Muito baixo	Itens de Ajuste, Acabamento/Chiado e Barulho não-conformes. Defeito notado pela maioria dos clientes (mais que 75%).	Ou os produtos podem ter que ser selecionados, sem sucateamento, e uma parte (menor que 100%) ser retrabalhada.	4
Menor	Itens de ajuste, Acabamento/Chiado e Barulho não-conformes. Defeito evidenciado por 50% dos clientes.	Ou uma parte (menor que 100%) dos produtos podem ter que ser retrabalhados, sem sucateamento, na linha mas fora da estação.	3
Muito menor	Itens de ajuste, Acabamento/Chiado e Barulho não - conforme. Defeito evidenciado por clientes acurados (menos que 25%).	Ou uma parte (menor que 100%) dos produtos pode ter que ser retrabalhados, sem sucateamento, na linha e dentro da estação.	2
Nenhum	Sem efeito identificado.	Ou pequena inconveniência no operador ou na operação, ou sem efeito.	1

FONTE: Instituto da qualidade automotiva, 2001

TABELA 10 – TABELA DE OCORRÊNCIA

Probabilidade	Taxa de falhas possíveis	Índice de ocorrência
Muito Alta: Falhas Persistentes	100 por mil pecas	10
	50 por mil pecas	09
	20 por mil pecas	08
Alta: Falhas freqüentes	10 por mil pecas	07
	05 por mil pecas	06
	02 por mil pecas	05
Moderada: Falhas ocasionais	01 por mil pecas	04
	0,5 por mil peças	03
	0,1 por mil pecas	02
Remota: Falha e improvável	≤ 0,01 por mil pecas	01

FONTE: Instituto da qualidade automotiva, 2001

TABELA 11 – TABELA DE DETECÇÃO

Detecção	Critério	Tipos de Inspeção			Faixas sugeridas nos métodos de detecção	Índice de Detecção
		A	B	C		
Quase impossível	Certeza absoluta da não detecção.			X	Não pode detectar ou não é verificado	10
Muito remota	Controles provavelmente e não irão detectar.			X	Controle e alcançado somente com verificação aleatória ou indireta.	09
Remota	Controles têm pouca chance de detecção.			X	Controle e alcançado somente com inspeção visual.	08
Muito Baixa	Controles têm pouca chance de detecção.			X	Controle e alcançado somente com dupla inspeção visual.	07
Baixa	Controles podem detectar.		X	X	Controle e alcançado com métodos gráficos, tais como CEP (Controle Estatístico do Processo).	06
Moderada	Controles podem detectar.		X		Controle e baseado em medições por variáveis depois que as peças deixam a estação, ou em medições do tipo passa/não-passa feitas em 100% das peças depois que deixam a estação.	05
Moderadamente alta	Controles têm boas chances para detectar.	X	X		Detecção de erros em operações subsequentes, ou medições feitas na preparação de máquinas e na verificação da primeira peça (somente para casos de preparação de máquina).	04
Alta	Controles têm boas chances para detectar.	X	X		Detecção de erros na estação, ou em operações subsequentes por múltiplos níveis de aceitação: fornecer, selecionar, instalar, verificar. Não pode aceitar peça discrepante.	03
Muito Alta	Controles quase certamente detectarão.	X	X		Detecção de erros na estação (medição automática com dispositivo de parada automática). Não pode passar peça discrepante.	02
Quase certamente	Controles certamente detectarão.	X			Peças discrepantes não podem ser feitas porque o item foi feito a prova de erros pelo projeto do processo/produto.	01

FONTE: Instituto da qualidade automotiva, 2001

NOTA – Tipos de Inspeção:

A: prova de erro

B: medição

C: inspeção manual

2.6.17 Diagramas de Dispersão

Segundo Campos (2003), trata-se de um gráfico onde cada ponto representa um par ordenado de valores, tem-se a visualização da relação entre duas variáveis, podendo ter uma idéia inicial de qual a tendência de variação conjunta que apresentam. No eixo X, representa-se a variável independente e no eixo Y a variável dependente.

A figura 29 representa um exemplo de diagrama de dispersão.

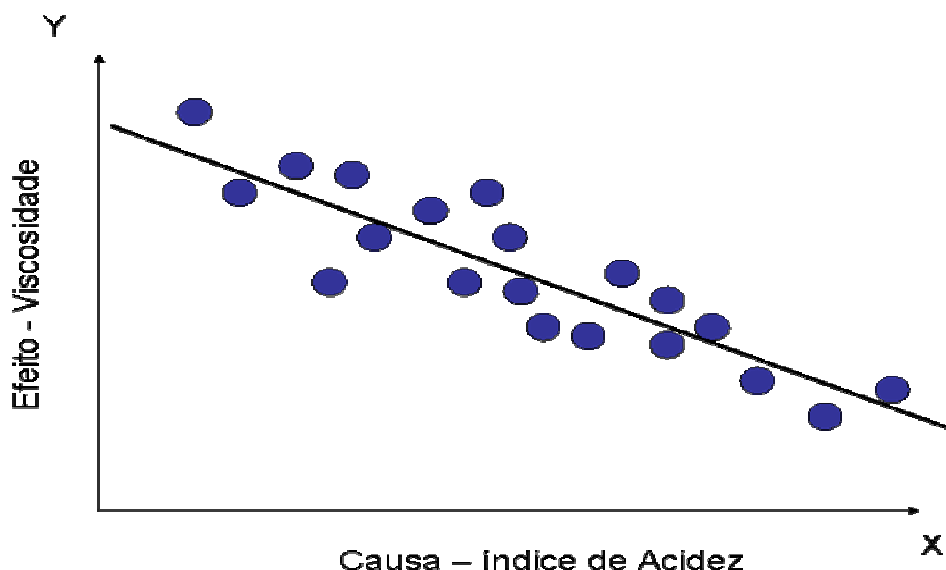


FIGURA 29 – EFEITO NA VISCOSIDADE CAUSADO PELA ACIDEZ
 FONTE: adaptada de Campos, 2003

2.6.18 Controle Estatístico do Processo

Conforme Paladini (1990), para verificar se um processo está ou não sob controle, podem-se utilizar os Gráficos de Controle, instrumentos que fornecem informações da real situação do processo, com alto grau de eficiência. Em síntese os gráficos de controle utilizam de um lado os dados em uma dada seqüência cronológica de coleta, e do outro, uma determinada característica conhecida, como especificação.

Os gráficos de controle baseiam-se na distribuição adequada a cada caso (variáveis ou atributos) e são um instrumento de diagnóstico de existência ou não de controle.

A figura 30 é um exemplo de gráfico de controle, onde:

x: valor observado da característica;

A: número de ordem cronológica da amostra ou seqüência de extrações (escala uniforme relativa ao tempo);

LSC: limite superior de controle;

LIC: limite inferior de controle;

LM: linha média.

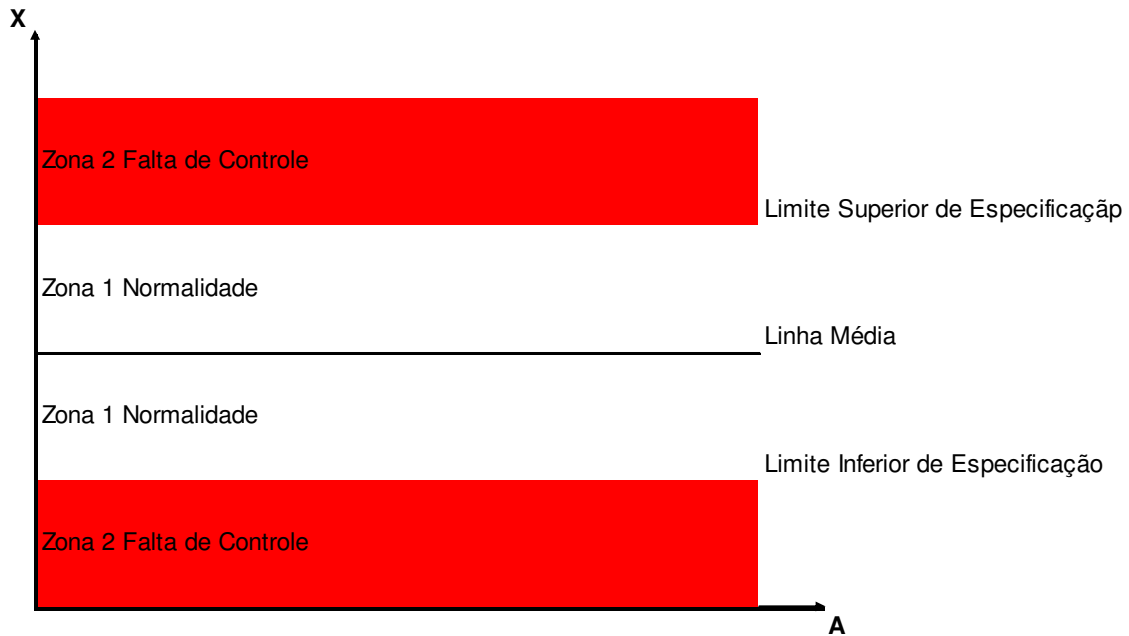


FIGURA 30 – ESTRUTURA DE GRÁFICO DE CONTROLE
 FONTE: adaptada de Paladini, 1990

Para melhor entendimento do Gráfico de Controle é importante destacar alguns conceitos.

Medidas de tendência central:

- média aritmética: é a soma de todos os valores (ou medidas) divididos pelo número total de valores. As fórmulas podem variar de acordo como são apresentadas, ou de acordo como os dados estão organizados;
- moda: é o valor que ocorre com mais frequência;
- mediana: é o valor que está equidistante entre o maior e o menor valor.

Medidas de dispersão:

A Dispersão refere-se ao princípio que causa a variação dos valores em torno do valor central.

É a variabilidade da distribuição ou a tendência de serem diferentes. Os três tipos principais das medidas da variabilidade são:

- amplitude (range): é a diferença entre o menor e o maior valor medido;
- desvio padrão: é a medida de dispersão mais útil e mais utilizada em estatística;
- variância (s^2): é o valor do desvio padrão ao quadrado.

2.6.19 Índice de Capabilidade

Segundo Paladini (1990), a expressão “Capabilidade do Processo” se refere a um comportamento específico do processo, identificado pelas seguintes características:

- a) operação do processo não sofre influências externas, ou seja, não há interferências estranhas atuando sobre ele;
- b) o processo está sob controle estatístico, ou seja, uma distribuição de frequências bem definida o descreve adequadamente;
- c) o processo é determinado por seus efeitos, que são perfeitamente previsíveis e esperados;
- d) o processo apresenta habilidade, ou condição para produzir itens similares.

Os estudos de Capabilidade de processos utilizam uma estratégia bem definida, baseada na coleta e análise de informações relativas ao desempenho do processo. A partir de uma organização específica destas informações são obtidas conclusões que permitem a determinação da Capabilidade do Processo, análise de seu valor e as opções disponíveis para mantê-lo ou alterá-lo.

Um estudo da Capabilidade revela:

- se o processo é uniforme ou não;
- se possui condições de atender a um conjunto de especificações;
- como varia as tendências naturais.

Os Índices de Capabilidade processam as informações de modo que seja possível avaliar se um processo é capaz de gerar produtos que atendam às especificações provenientes dos clientes internos ou externos.

Segundo Taghizadegan (2006), um processo Seis Sigma conforme mostra a figura 32, significa afirmar que “cabem” dentro da especificação seis desvios padrão, ou seja, para a variação que o processo apresenta seria necessário que o mesmo variasse seis vezes mais para que algo desse errado. Na figura 31 apresenta-se um processo 3 Sigma, ou seja, para algo de errado é necessário que a variação existente aumente em três vezes sua grandeza. Logo, um processo Seis Sigma apresenta apenas 3,4 defeitos em um milhão de

oportunidades, ou 3,4 DPMO, ao passo que o processo ± 3 Sigma (qualidade tradicional) apresenta 66.807 defeitos em um milhão de oportunidades, ou 66.807 DPMO. Para ambos os casos leva-se em consideração um processo deslocado de 1,5 Sigma, que reflete as variações normais de um processo.

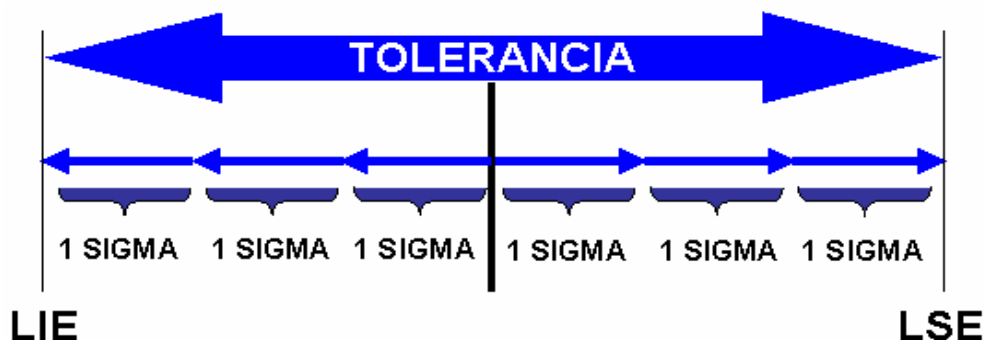


FIGURA 31 – PROCESSO ± 3 SIGMA
FONTE: adaptada de Brusse, 2004

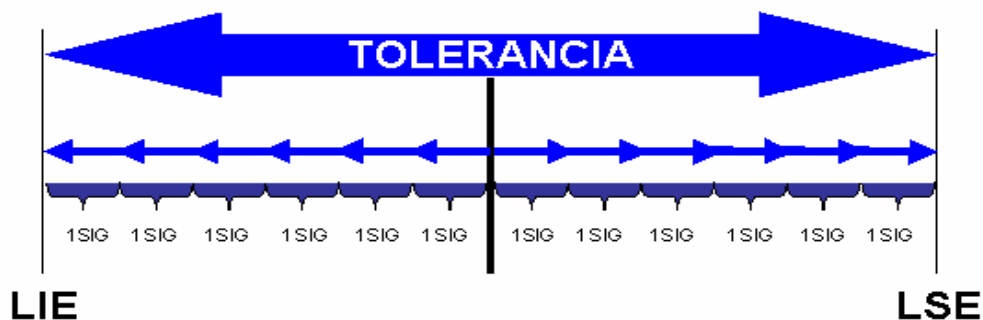


FIGURA 32 – PROCESSO ± 6 SIGMA
FONTE: adaptada de Brusse, 2004

Capabilidade do processo: É a habilidade do processo em produzir produtos dentro dos limites de especificação. Um processo é capaz quando o mesmo atende estatisticamente as especificações, por meio dos índices de Cp e Cpk, onde:

Cp: mede o grau de “espalhamento” do processo em relação à especificação. Leva em consideração a dispersão em relação aos limites de especificação;

Cpk: mede o “deslocamento” em relação à especificação. Leva em consideração a dispersão e centragem em relação aos limites de especificação;

LSE : Limite Superior de Especificação;

LIE : Limite Inferior de Especificação.

É possível verificar por meio das figuras 33 e 34, a evolução de um processo não capaz para um capaz. A análise pode ser realizada analisando-se os valores de Cp e Cpk ou ainda pela análise visual, onde se verifica na figura 33 o processo deslocado para a direita e com

dados fora da especificação, e na figura 34 o mesmo processo, porém centrado e dentro dos valores de especificação.

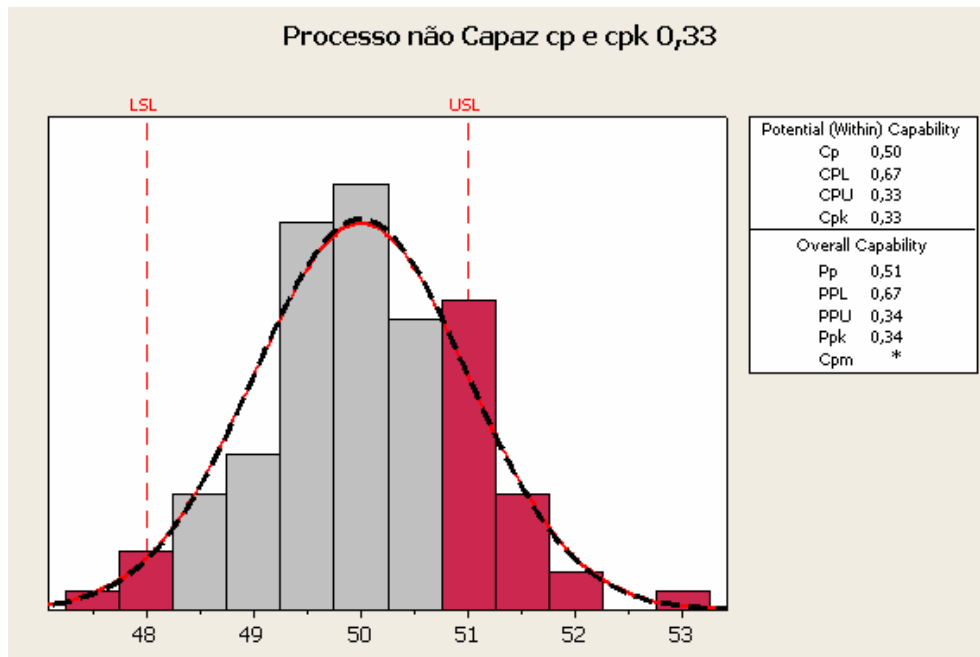


FIGURA 33 – PROCESSO NÃO CAPAZ E DESLOCADO PARA DIREITA
FONTE: capacidade do processo, 2008

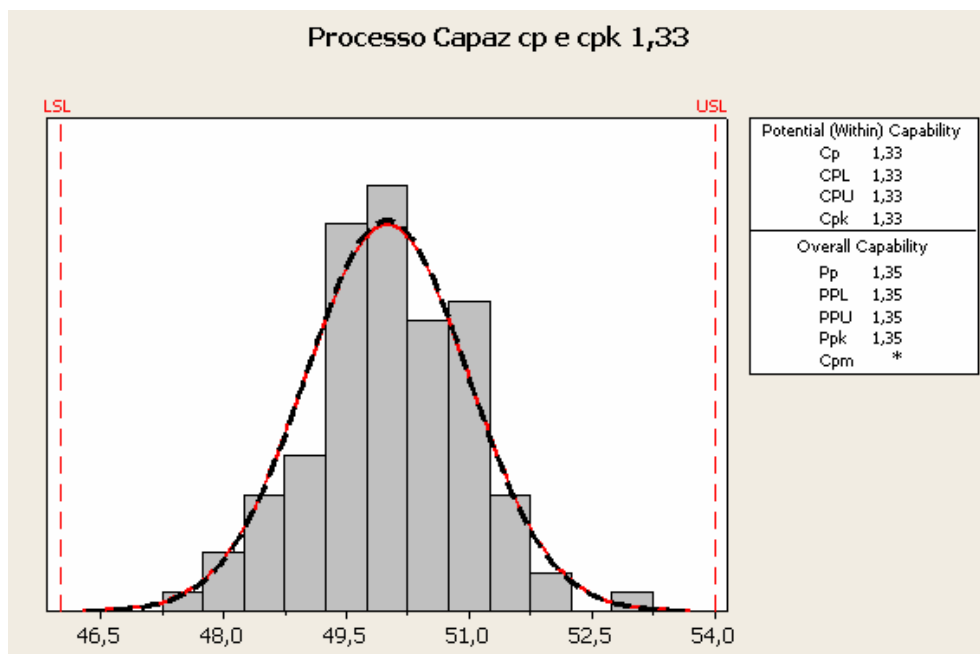


FIGURA 34 – PROCESSO CAPAZ E CENTRADO
FONTE: capacidade do processo, 2008

Cálculo Cp – Índice de Capacidade Potencial de um Processo

Conforme disposto na figura 1, a maioria dos processos atuais localizam-se entre a Capabilidade correspondente a 3 a 4 Sigmas. Abaixo as equações (9) e (10) permitem calcular a Capabilidade do Processo.

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6 \times \sigma} \quad (9)$$

Cp= Capabilidade do processo

USL= Limite superior de especificação

LSL= Limite inferior de especificação

6 x σ = Seis desvios padrão

O cálculo do desvio padrão σ é verificado no item 2.2.7.

Cálculo Cpk – Índice de Capabilidade Nominal de um Processo

$$C_{pk} = C_p - \frac{|m - \bar{x}|}{3 \times \sigma} \quad (10)$$

Cpk= Capabilidade Nominal do Processo

Cp= Capabilidade do Processo

m= LIE ou LSE

x= Média dos limites de especificação

3 x σ = Três desvios padrão

2.6.20 Diagrama de Causa e Efeito

Utiliza-se o diagrama de “Causa e Efeito” para organizar as causas potenciais que produzem um efeito observado e leva em consideração para o efeito observado, conforme exemplo da tabela 12, as causas relacionadas ao método, matéria-prima, meio ambiente, máquina, mensuração e mão de obra.

As observações de causa e efeito são de grande importância para a realização da criação de hipóteses sobre o experimento estudado.

A tabela 12 é um exemplo de diagrama de causa e efeito.

TABELA 12 – EXEMPLO DE DIAGRAMA DE CAUSA E EFEITO

Método	Matéria-Prima	Meio Ambiente	Máquina	Mensuração	Mão de Obra
Qualidade da impressão	Não reutilização do cartucho	Umidade	Impressora desregulada	Falta de mensuração das cópias	Falta de conscientização
Impressão colorida desnecessária	Não reutilização da tinta		Sujeira na impressora		Impressões desnecessárias

FONTE: adaptada de Campos, 2005

2.6.21 Matriz de Priorização

A matriz de priorização conforme figura 35, tem como objetivo dentro da fase Analisar, identificar as principais causas potenciais para o problema considerado.

		Problema prioritário		
		Atraso no Recebimento de materiais	Atraso na fabricação de tintas	
Peso (5 a 10)		8	10	total
Causa potencial	Tempo para separação de materiais	1	1	18
	Falta de ordem de processo	0	3	30
	Atraso na liberação de materiais pelo laboratório	3	3	54

5 – correlação forte; 3 – moderada; 1 – fraca; 0 - ausente

FIGURA 35 – MATRIZ DE PRIORIZAÇÃO NA FÁBRICA DE TINTAS

FONTE: próprio autor

Existem diversas formas de analisar o que deve ser realizado primeiro nas atividades do dia-a-dia. A matriz de priorização considera a correlação Causa X Efeito dentro de quatro possibilidades:

- correlação forte: pontuação 5;
- correlação moderada: pontuação 3;

- correlação fraca: pontuação 1;
- correlação nula: pontuação 0.

O valor de correlação é dado pela equação 11.

$$\text{Correlação: } 18 = (8 \times 1) + (10 \times 1) \quad (11)$$

2.6.22 Análise de Regressão

Segundo Campos (2005), a Análise de Regressão avalia o relacionamento entre variáveis independentes (variáveis preditoras) e uma variável dependente (resposta), fornecendo uma equação que descreve este relacionamento.

2.6.23 Teste de Hipóteses

Segundo Campos (2003), testes de hipóteses são testes realizados sobre as amostras, a fim de poder fazer inferências sobre os parâmetros da população de onde a amostra foi retirada.

Intervalos de confiança são intervalos de valores, limitados por um mínimo e um máximo, usados para estimar um parâmetro desconhecido. As análises são baseadas em dados amostrais, mas as conclusões podem ser estendidas para a população.

A hipótese estatística é uma suposição ou uma afirmação realizada em relação a um parâmetro da população.

Hipótese nula e hipótese alternativa: Descreve dois possíveis estados que não podem ser aceitos ou rejeitados ao mesmo tempo, pois são igualmente excludentes, ou seja, quando se rejeita uma hipótese a outra automaticamente é aceita.

Hipótese Nula: é a hipótese sobre a qual deve-se obter evidências para rejeitá-la. Por convenção a igualdade deve ficar na hipótese nula.

Hipótese alternativa: deve conter a hipótese de pesquisa, ou seja, aquela que o pesquisador deseja aceitar.

Antes da realização do teste de Hipótese, necessita-se saber qual o tipo de parâmetro será testado, representado pelos símbolos abaixo:

- média: μ
- variância: σ^2
- proporção: p

Abaixo a representação das hipóteses quando se testam médias, onde μ_0 é o valor hipotético da média da população (valor que se quer testar), podendo ser um valor histórico, uma especificação, um dado de um cliente, etc.

Hipótese nula: $H_0: \mu = \mu_0$

Hipótese alternativa: $H_1: \mu > \mu_0$

Hipótese alternativa: $H_1: \mu < \mu_0$

Hipótese alternativa: $H_1: \mu \neq \mu_0$

A figura 36 permite por meio de uma seqüência lógica, determinar qual o tipo de teste de hipótese que melhor se enquadra para se determinar as inferências sobre a amostra.

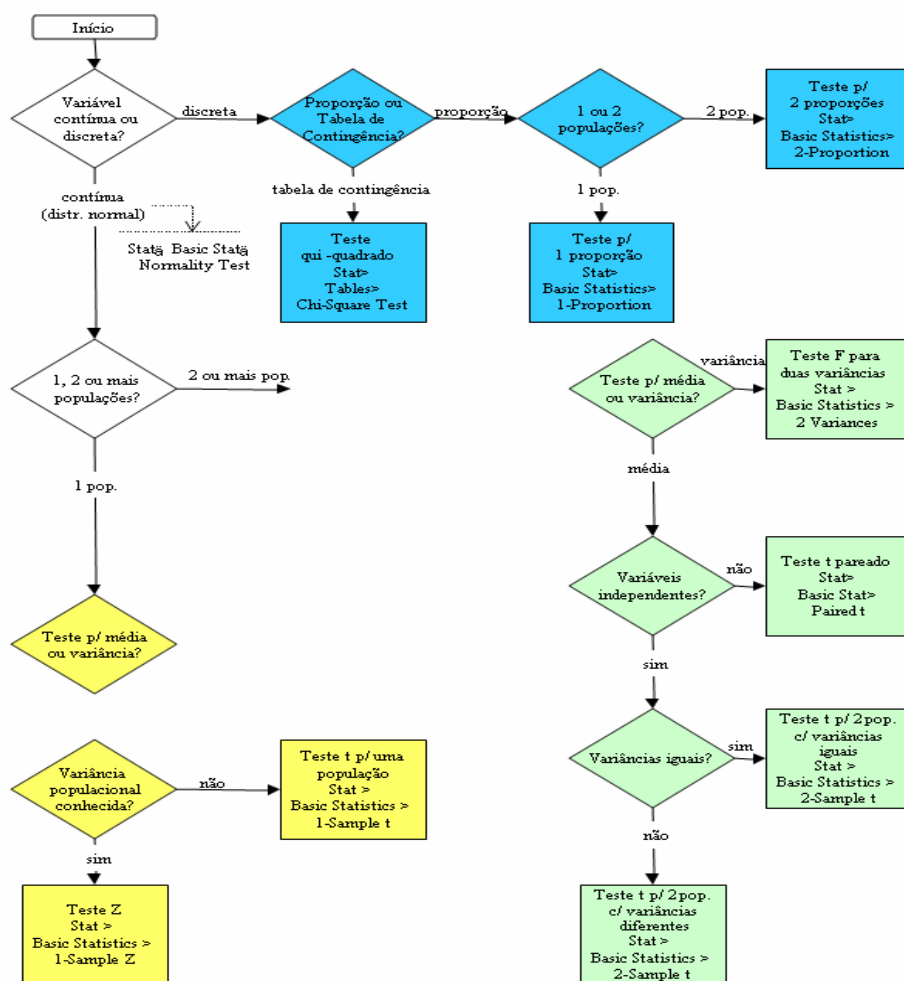


FIGURA 36 – SEQÜÊNCIA LÓGICA PARA DEFINIÇÃO DO TESTE DE HIPÓTESE
FONTE: adaptada de Campos, 2007

2.6.24 Análise de Variância

Segundo Campos (2003), utiliza-se a análise de variância – ANOVA – quando se deseja realizar teste de hipóteses para comparar as médias de duas ou mais populações ao mesmo tempo. Para aplicar-se o procedimento de análise de variância, algumas condições necessitam ser cumpridas:

- as amostras devem ser extraídas de populações que tenham distribuições normais;
- as amostras devem ser aleatórias e independentes;
- as populações devem ter a mesma variância.

O teste de variância é similar ao teste de hipóteses simples, porém diferentemente do teste de hipóteses, que leva em consideração apenas duas populações, o teste de variância pode comparar as médias de duas ou mais populações.

Representação da variância para teste das médias de mais de duas populações, onde, se pelo menos uma das médias apresenta diferença entre as outras médias, H_0 será rejeitado.

$H_0: \mu_A = \mu_B = \mu_C = \mu_D = \mu_E = \dots$

H_1 : pelo menos duas médias diferem entre si

2.6.25 DOE – *Design of Experiments*

Segundo Campos (2003), o Delineamento de Experimentos (DOE – *Design of Experiments*) é constituído de um conjunto de técnicas estatísticas que proporcionam um método estruturado para planejar, executar e analisar experimentos. O Delineamento de Experimento é utilizado para determinar qual a combinação ótima de variáveis (independentes) na obtenção da resposta desejada (variável dependente).

A experimentação se faz necessária quando se deseja:

- determinar as relações de causa e efeito entre entradas do processo e as características do produto;
- criar um processo que é relativamente insensível ou robusto às variações como matérias-primas e componentes;

- criar um produto robusto e insensível às variações do ambiente operacional.
- determinar os efeitos de como matérias-primas mais baratas interfere no desempenho de produtos;
- redução do número de mudanças de fórmulas de engenharia.
- obtenção de equação que modela o processo.

O Delineamento de Experimentos permite estudar simultaneamente os efeitos individuais e interações de muitos fatores.

Fases do Delineamento de Experimentos:

- planejamento do experimento: consiste no desenvolvimento de uma estrutura para a manipulação experimental das variáveis (fatores) e sua execução;
- procedimento analítico: extração das informações relevantes obtidas do experimento.

Evolução da Seqüência de Experimentação:

- seleção das variáveis;
- caracterização;
- otimização.

2.6.26 5W2H

Segundo Werkema (2002), o 5W2H possui o objetivo de definir para a estratégia de ação elaborada, os seguintes itens:

- what – O que será feito?
- when – Quando será feito?
- who – Quem fará?
- where – Onde será feito?
- why – Por que será feito?
- how – Como será feito?
- how much – Quanto custará o que será feito?

O método 5W2H é rotineiramente utilizado para se determinar o escopo de um determinado projeto ou trabalho, onde se questiona a responsabilidade pela ação requerida.

Na tabela 13, tem-se um exemplo da planilha 5W2H

TABELA 13 – EXEMPLO DE PLANILHA 5W2H

What	Why	Who	Where	When	How	How Much
Atividade	Objetivo	Responsável	Local	Prazo	Procedimento	Quando
O quê?	Por quê?	Quem?	Onde?	Quando?	Como?	Custo?

FONTE: adaptada de Campos, 2007

2.6.27 Poka-Yoke

Segundo Werkema (2002), possui a finalidade de detectar e corrigir erros em um processo, antes que eles se transformem em defeitos percebidos pelo cliente e ou fornecedor.

Para Werkema (2006), *Poka-Yoke* significa à prova de erro (*error proofing ou mistake proofing*). Trata-se de qualquer mecanismo que evite que o erro seja cometido, ou que torne o erro óbvio à primeira vista para que seja facilmente detectado e corrigido. Existem dois tipos de Poka-Yoke, os de caráter preventivo, que não permitem a ocorrência do erro, e os de caráter detectivo, que interrompem o processo ou emitem um sinal quando um erro é cometido, de modo que o responsável possa corrigi-lo rapidamente.

Exemplos de dispositivos *Poka-Yoke*:

- caráter preventivo: disquete de computador, disjuntor para evitar sobrecarga, porta de secadora que quando aberta interrompe a operação, furo na pia evita o transbordamento, porta do carro que fecha automaticamente ao atingir 30 km/h, janela no envelope impede que um documento seja enviado a outro erroneamente.
- sistemas de cor semafóricos.
- caráter detectivo: sinal sonoro do carro para alertar sobre a não-colocação do cinto de segurança ou porta aberta.
- encaixe entre fechadura e chave.

- sinalizadores sonoros de pistas de auto-rodagem.
- aviso sonoro quando se ultrapassa a velocidade máxima.
- Iluminação de presença.

2.7 PRINCIPAIS FERRAMENTAS DA QUALIDADE UTILIZADAS NO DMAIC

Werkema (2002) propõe a utilização das ferramentas estatísticas situadas na tabela 14 para desenvolvimento das fases DMAIC.

TABELA 14 – FASES DO DMAIC E PRINCIPAIS FERRAMENTAS

FERRAMENTA	DEFINIR	MEDIR	ANALISAR	IMPLEMENTAR	CONTROLAR
Mapa de Raciocínio	x				
Project Charter	x				
Métricas do Seis Sigma	x	x			x
Grafico Sequencial	x	x			
Carta de Controle	x	x	x		x
Análise de Series Temporais	x	x			
VOC - Voz do Cliente	x				
SIPOC	x				
MSA - Análise do Sistema de Medição		x	x		x
Estratificação		x	x		
Folha de Verificação		x			x
Amostragem		x			x
Plano para coleta de dados		x			x
Diagrama de Pareto		x			x
Histograma			x		x
<i>Boxplot</i>		x	x		
Índice de Capacidade		x			x
Análise Multivariada		x			
Fluxograma			x		
Mapa de Processo			x		
FMEA			x	x	
Diagrama de Dispersão			x		
Cata "Multi-Vari"			x		
Brainstorming			x	x	
Diagrama de Causa e Efeito			x	x	
Diagrama de Matriz			x	x	
Matriz de Priorização			x		
Análise de Regressão			x		
Testes de Hipóteses			x	x	
Análise de Variância			x		

Continua
Continuação

TABELA 14 – FASES DO DMAIC E PRINCIPAIS FERRAMENTAS

FERRAMENTA	DEFINIR	MEDIR	ANALISAR	IMPLEMENTAR	CONTROLAR
Planejamento de Experimentos			x		
5W2H				x	
Diagrama de Árvore				x	
Diagrama de Gantt				x	
Diagrama do Processo Decisório				x	
Poka-Yoke					x
Manuais					x
Reuniões					x
On The Job					x

FONTE: adaptada de Werkema, 2002

2.8 TESTE DE NORMALIDADE

Segundo Campos (2007), a distribuição normal é a mais importante distribuição contínua de probabilidade da estatística. Trata-se da distribuição mais comum encontrada na natureza e no ambiente industrial, descrevendo o comportamento de muitos fenômenos físicos e de engenharia.

Características de uma distribuição normal:

- a variável aleatória pode assumir qualquer valor real;
- o gráfico da distribuição normal é uma curva em forma de sino, simétrica em torno da média;
- a área total sob a curva possui valor igual a 1;
- a moda e a mediana de X são iguais a média de X;
- a configuração da curva é dada por dois parâmetros: a média (posição da distribuição) e o desvio padrão (dispersão da distribuição).

Para a realização do teste de hipótese a fim de se determinar se os dados obedecem a uma distribuição normal, conforme verificado no item 4.7, adota-se comumente um nível de significância de 5% para o teste de hipótese (nível de assertividade), inferindo as seguintes afirmações segundo ao valor de p-value encontrado:

- p-value menor que 0,05: rejeita-se a hipótese nula e aceita a alternativa

- p-value maior que 0,05: aceita-se a hipótese nula

Por convenção o teste de hipótese é assim interpretado:

- hipótese nula: H0 (dados seguem uma distribuição normal);
- hipótese alternativa: H1 (dados não seguem uma distribuição normal)

2.9 CONCEITO SOBRE PRODUTIVIDADE

Segundo Corrêa e Corrêa (2006), a produtividade é uma medida da eficiência em que recursos de entrada (insumos) de um sistema de agregação de valor são transformados em saídas (produtos), podendo ser expresso segundo as equações 12 e 13.

$$\text{produtividade} = \frac{\text{Saídas}}{\text{Entradas}} \quad (12)$$

$$\text{produtividade} = \frac{\text{Produtos}}{\text{Matérias-Primas}} \quad (13)$$

As medidas de produtividade podem ser utilizadas para expressar vários níveis de agregação. A quantidade de tintas envasadas por homem/mês, homem/dia ou até mesmo por homem/turno de trabalho podem ser considerados como uma medida de produtividade.

São exemplos de medidas de produtividade:

- quantidade de vendas realizadas por vendedor por hora;
- número de entregas de pizzas efetuadas por dia trabalhado;
- número de riquezas geradas pelo país pelo número de indivíduos deste mesmo país, conhecido por PIB (Produto Interno Bruto);
- número de litros envasados por colaborador por turno trabalhado;
- retorno financeiro após o custo de capital por ano trabalhado;
- número de atendimento por dia de um colaborador de Centro Telefônico.

A figura 37 ilustra as interfaces de produtividade em uma organização.

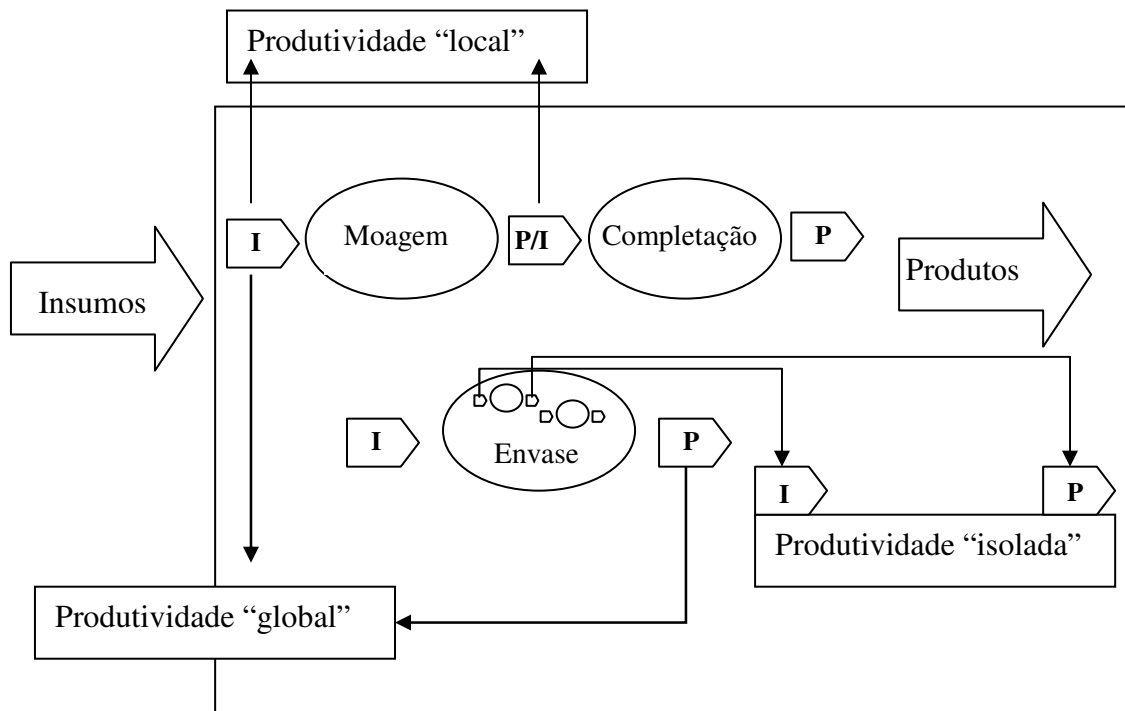


FIGURA 37 – PRODUTIVIDADE LOCAL, GLOBAL E ISOLADA
FONTE: adaptada de Corrêa e Corrêa, 2006

A produtividade local limita-se ao desempenho de uma determinada etapa de um processo macro ou global, enquanto a produtividade global determina a relação existente entre a quantidade total de insumos na entrada do processo macro e a quantidade total de produtos gerados.

Existem três classes gerais de medidas de produtividade, a produtividade total, local e isolada dos fatores envolvidos:

- a produtividade total é a razão entre o produto real bruto mensurável (unidades prontas, unidades parcialmente prontas) e a soma de todos os insumos mensuráveis;
- a produtividade local é a relação entre o produto real bruto ou líquido mensurável (valor agregado) e um grupo de insumos mensuráveis;
- a produtividade isolada é a relação existente entre o produto real bruto mensurável de uma única classe de insumo mensurável.

No exemplo a seguir, visto na tabela 15, resume-se a evolução da produtividade por meio das alterações dos respectivos insumos. Considera-se a tinta A e três insumos para sua produção:

- material;
- mão-de-obra;
- energias

O cálculo da produtividade é apresentado para a variação dos vários insumos e para a produtividade total entre dois períodos X e Y.

TABELA 15 – EXEMPLO DE VARIAÇÃO DA TAXA DE PRODUTIVIDADE

item	Valores reais	
	Período X (A)	Período Y (B)
Receita com vendas	200	200
Materiais	62	61
Energia	10	9
Salários	42	35
Total de insumos	114	105
PT Produtividade total	$200/(62+10+42)$ 1,754	$200/(61+9+35)$ 1,905
Taxa de variação da produtividade B/A	1,905/1,754	<u>(+)1,086</u>

FONTE: adaptada de Corrêa e Corrêa, 2006

3. METODOLOGIA DA PESQUISA

3.1 TIPOS DE PESQUISA

Definir uma abordagem de pesquisa é estritamente importante para prover crédito às informações pertencentes ao desenvolvimento da pesquisa. Diversas são as razões para que não se concretize corretamente as pesquisas dentro de uma organização.

Segundo Olave (1998), as pesquisas podem ser vistas por três diferentes prismas:

- a) pesquisa exploratória: visa tornar o problema mais explícito, construindo hipóteses e melhorando idéias;
- b) pesquisa descritiva: visa descrever as características de uma determinada população e possíveis relações entre as variáveis;
- c) pesquisa explicativa: visa identificar fatores que determinam a ocorrência dos fenômenos, enriquecendo a realidade dos acontecimentos, explicando os fatos.

Brymann (1995) propõe uma distinção entre Métodos de Coleta de Dados e Métodos de Pesquisa. O Método de Coleta de Dados retrata uma estrutura que define condições para coleta e análise de dados, já os Métodos de Pesquisa retratam uma orientação geral de como realizar uma investigação.

Para distinguir os métodos de pesquisa, Brymann (1995) propõe as seguintes definições:

3.1.2 Métodos de Pesquisa

3.1.2.1 Pesquisa de Levantamento

Não há intervenção do pesquisador e sim a análise entre as relações entre as variáveis levando em consideração a posição do entrevistado ou do questionário aplicado.

3.1.2.2 Pesquisa Qualitativa

O Pesquisador pouco interfere neste tipo de pesquisa, leva-se em consideração o que o entrevistado pensa a respeito de algo, de seu comportamento, do ambiente e de outros. Foca-se o que ocorre na organização com base nas palavras do entrevistado, o entrevistador não opina sobre a empresa neste caso.

3.1.2.3 Pesquisa de Estudo de Caso

Consiste na análise detalhada sobre o estudo de um ou mais casos. A análise a ser efetuada pode ser em um departamento, seções ou processos.

3.1.2.4 Pesquisa-Ação

Neste caso o pesquisador e outros membros da equipe são envolvidos diretamente na solução de um problema real. O pesquisador recomenda ações observando-as por meio da organização, onde sua principal característica se dá por haver uma relação intensa entre o pesquisador e o tema proposto.

3.1.2.5 Pesquisa Experimental

Aplicada em ambientes controlados, como pesquisas de campo e de laboratório, estudando os efeitos e causas entre as respectivas variáveis. Neste caso existe a participação do pesquisador.

3.1.3 Método de Coleta de Dados

3.1.3.1 Questionários Auto-Administrados

Trata-se de questões livremente respondidas pelo entrevistado.

3.1.3.2 Entrevista Estruturada

Trata-se de questões mais elaboradas e assertivas, realizadas pelo entrevistador.

3.1.3.3 Entrevista Não Estruturada

Trata-se de uma forma de coleta de dados que permite uma variação muito grande nas respostas obtidas. Neste caso a entrevista é conduzida de maneira informal.

3.1.3.4 Informações de Arquivo

Trata-se da utilização de material já existente no processo de análise de dados. Entretanto, não é considerado um método de coleta de dados, justamente por já existirem, não sendo necessária a realização de coletas diferenciadas como as vistas anteriormente.

3.1.3.5 Simulação

Neste caso solicita-se aos envolvidos que realizem simulações reais para coleta de dados, nas diferentes situações possíveis.

3.1.3.6 Observação Estruturada

Trata-se de uma forma onde o observador coleta informações utilizando um plano pré determinado, não fazendo parte na maioria das vezes da rotina da organização.

3.1.3.7 Observação como Participante

Trata-se da coleta por parte do observador quando este está inserido no determinado contexto organizacional.

3.1.4 Aplicação da Pesquisa Experimental

A pesquisa experimental é realizada por meio de investigações de pesquisa e possuem como principal finalidade testar hipóteses que dizem respeito a relações de causa e efeito. Envolve a seleção e manipulação de variáveis independentes. Empregam técnicas de amostragem para aumentar a possibilidade de generalização das descobertas realizadas com a experiência. Tais pesquisas experimentais podem ser realizadas em laboratório e no campo.

Para Juran (1988), a pesquisa de experimentos é um tipo de observação estruturada utilizado para melhor entender os relacionamentos das possíveis variáveis do processo associados a uma saída de processo.

Para Breyfogle (1999), os experimentos incluem combinações possíveis referente a entradas de um processo e suas respectivas variáveis conhecidas, por meio de técnicas de experimento que permitem alterá-las de modo analisar seu efeito ao longo do processo.

Embora este trabalho tenha uma pequena mescla de outras formas de pesquisa conforme citadas acima, no item 3.1.2, a pesquisa experimental foi a que mais se aproximou do contexto estudado. Os testes de hipótese relatados neste experimento, a participação ativa do *Team Members* e principalmente o direcionamento do trabalho empregado pelo próprio pesquisador, denota o alinhamento com o tipo de pesquisa experimental.

Este cenário, segundo Brymann (1995), da à pesquisa, o enfoque quantitativo, por quê:

- as hipóteses apresentadas contêm conceitos mensuráveis, de fácil comprovação estatística;
- busca relações de causa-efeito no experimento;

- manipulação de variáveis dependentes e independentes quantitativas;
- experimentos realizados em laboratório com resultados mensuráveis;
- apresenta técnicas de amostragem para emprego das análises de dados e respectivas hipóteses de melhoria.

A metodologia e o tipo de amostragem (coleta de dados) utilizados no trabalho foram respectivamente:

- pesquisa experimental quantitativa;
- amostragem por coleta de dados por simulação e Informações de arquivo.

3.2 VARIÁVEIS DA QUESTÃO DA PESQUISA

Dentro do processo de envase de tintas decorativas encontram-se uma série de variáveis que influenciam significativamente no desempenho do mesmo, e são divididos em dois grupos importantes, os que diretamente estão relacionados aos equipamentos, produtos e processos e aqueles relacionados a pessoas e procedimentos operacionais:

- variáveis relacionadas aos equipamentos, produtos e processos: São aquelas em que se obtém o controle total sobre os parâmetros. Para o experimento estudado elencou-se como principais variáveis, a velocidade de envase, viscosidade, temperatura e densidade da tinta, número de *Set-ups*, *mix* (mistura) de embalagens, *mix* de cores, e outras com menor relevância;
- variáveis relacionadas a pessoas e procedimento operacionais: São aquelas em que não se detém controle direto das ações. As pessoas são diferentes umas das outras, e mesmo que se aplique o mesmo conceito de produtividade às mesmas, os resultados serão diferentes, bem como os procedimentos operacionais, que, por mais que possuam detalhes de como executá-lo, é possível encontrar diferenças de interpretação e conseqüentemente impactos significativos ou não nos resultados.

3.3 HIPÓTESE

Duas hipóteses são relacionadas ao experimento estudado, uma relacionada ao ganho produtivo, e outra à aceitabilidade e a continuidade da metodologia após conclusão do projeto, sendo:

- primeira hipótese: supõe a efetividade da metodologia Seis Sigma em incrementar a produtividade do envase de tintas decorativas a base de solvente;
- segunda hipótese: supõe a capacidade da metodologia em perpetuar-se pela organização após o término do projeto.

Para a confirmação da primeira hipótese, foram avaliadas as principais interferências causadoras da baixa produtividade no envase, como problemas de *Set-up*, deficiências no equipamento de envase e capacitação de pessoas.

Para a confirmação da segunda hipótese, observou-se a evolução do projeto e a capacidade da metodologia em gerar novas demandas de projetos que possuiriam a metodologia Seis Sigma como ferramenta para resolução dos problemas detectados.

3.4 FONTES DE DADOS

Segundo Campos (2005), uma das principais fases do DMAIC é a coleta de dados, definindo que, tão preciso serão os resultados obtidos quanto corretamente forem às fontes dos mesmos. A importância da fonte de dados promoverá sustentabilidade dos resultados alcançados. No experimento em questão as fontes de dados foram: amostragem por coleta de dados por simulação e informações de arquivo, conforme item 3.1.3.

3.4.1 Fontes de Dados Primários

Os dados primários foram obtidos a partir de coletas de campo realizadas pelo próprio pesquisador, *Team Members*, colaboradores dos processos. Informações de arquivos

geradas no próprio local de trabalho também foram utilizadas. Os processos de programação de fábrica e engenharia de processos também contribuíram com informações.

A tabela 16 demonstra algumas das informações obtidas por cada uma das atividades deste experimento:

TABELA 16 – FONTE DE DADOS POR ATIVIDADE

atividades	local	dados quantitativos	dados qualitativos
medição da produtividade no local de envase	Devree II	x	
dados sobre a seqüência de envase	programação de envase	x	x
dados sobre o processo como velocidade de envase	engenharia de processo	x	
dados de arquivo, com informações sobre tipos de <i>Set-ups</i> , produtividade alcançada e programação de envase	arquivo da fábrica em papel e meio eletrônico	x	

FONTE: próprio autor

3.4.2 Fontes de Dados Secundários

Alguns dados, não menos importantes que os primários, foram necessários para o desenvolvimento do experimento, como dados de arquivo provenientes de outros processos tais como planejamento de materiais, controle de qualidade, engenharia e manutenção, bem como de um fornecedor. São elas:

- dados de produtividade nominal da máquina de envase Devree II com o fornecedor da referida máquina, conforme tabela 16;
- dados referentes aos diferentes bicos de envase e suas respectivas características, do fornecedor Devree;
- dados do dispositivo *spray ball*, como dimensional e mecanismo de funcionamento.
- dados sobre as condições técnicas do equipamento de envase, provenientes na manutenção e engenharia de campo;

- dados sobre as tintas envasadas como viscosidade, temperatura, densidade. Informações procedentes dos laboratórios de controle de qualidade;
- dados sobre a demanda de envase, oriundos do planejamento de materiais.

3.5 POPULAÇÃO, TAMANHO DA AMOSTRA E AMOSTRAGEM

A população desta pesquisa é integrada pelos agentes que compõem o processo de envase de tintas decorativas a base de solvente, todos referentes ao processo normal de envase, segundo o planejamento e programação de envase de rotina, assim distribuídos:

- 5 tipos de tintas:
 - tinta óleo;
 - tinta alumínio;
 - tinta fosca;
 - tinta acetinada;
 - tinta brilhante.
- 8 operadores de envase, sendo: a; b; c; d; e; f; g; h;
- 2 tipos e embalagens metálicas e cilíndricas:
 - galão de 3,6 litros;
 - quarto de galão de 0,9 litros.
- 7 cores de tintas:
 - vermelha;
 - verde;
 - amarela;
 - preta;
 - azul;
 - aluminizada;
 - grafitada.
- 1 máquina de envase, Devreell.

3.6 PROCEDIMENTO DE COLETA DE DADOS

O procedimento de coleta de dados foi realizado a partir das informações de arquivo, constando dados de envase em momentos do passado, a fim de correlacioná-los com os dados atuais, e coleta de dados em meio ao processo normal de envase. Adotaram-se as coletas de envase em todos os turnos de trabalho e respectivos operadores de máquina, bem como avaliando o *mix* de embalagens na relação 80:20 a fim de se evitar falhas no cálculo da produtividade. Fixaram-se operadores para o levantamento de dados minimizando falhas nas leituras realizadas, bem como a realização dos respectivos treinamentos na atividade.

3.7 ANÁLISE DE DADOS

A análise de dados seguiu a etapa A (analisar) das fases DMAIC utilizando as ferramentas estatísticas para comprovação das hipóteses levantadas referente às melhorias do processo de envase. Esta etapa foi importante para dar sustentação as melhorias realizadas na máquina Devree II.

Abaixo algumas das análises estatísticas utilizadas:

- teste de normalidade;
- teste de variância;
- teste de hipóteses;
- análise *Boxplot*;
- análise de pareto;
- distribuição normal;
- desvio padrão
- brainstorm;
- fluxograma de caixa;
- matriz de cauda-efeito;
- análise de risco;
- análise individual *value-plot*

4. EXPERIMENTAÇÃO

4.1 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

A BASF - Badische Anilin & Soda-Fabrik, com sede em Ludwigshafen, Alemanha, está entre as maiores corporações em especialidades químicas no mundo. Está presente em mais de 170 países, sendo 10 deles na América do Sul. No Brasil, localiza-se nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Bahia e Pernambuco, produzindo produtos, como intermediários, auxiliares, farmacêuticos, polímeros, pré-misturas vitamínicas, pigmentos, dispersões acrílicas, produtos para agricultura, soluções para construção, peças e tintas para indústria automobilística e decorativa.

Em 2006 a BASF adquiriu a *Engelhard Corporation, Degussa Construction Chemicals and Johnson Polymer*, em 2008 a *Ciba Holding AG*, tornando-se a maior empresa Química do Mundo.

O foco deste experimento refere-se às tintas decorativas da marca Suvinil, criada em 1961 na cidade de São Bernardo do Campo - SP pela BASF. Focada nos pilares de sustentação, econômico, ambiental e social, a marca Suvinil é responsável pela maior participação em volume de vendas no mercado brasileiro, reconhecida pelos principais veículos de comunicação como uma empresa bem sucedida e inovadora, com produtos e serviços de qualidade.

Seus produtos englobam uma série de materiais destinados para linha decorativa, como esmaltes a base de solvente e a base água, desenvolvidos com resinas acrílicas e PVA, massa acrílica e massa PVA, texturatos, solventes, vernizes, fundo preparador e materiais de efeito. Determinou-se a linha de Esmaltes Base Solvente como escopo para o desenvolvimento deste experimento, sendo este, subdividido em Esmalte Brilhante, Fosco e Acetinado.

4.2 DEFINIÇÃO DA FÁBRICA

Responsável pela produção de esmaltes e vernizes a base de solventes, a Fábrica 1, assim chamada internamente, localiza-se no Município de São Bernardo do Campo - SP, e responsável pelo envase dos produtos destinados à linha automobilística, repintura automotiva e decorativa. O escopo deste experimento refere-se aos dados da linha de

esmaltes decorativos imobiliários das marcas Suvinil (linha Premium) e Glasurit (linha Standart e Econômica), envasados na Fábrica 1, cuja atividade ocorre em três turnos, respondendo por um dos faturamentos mais sólidos do negócio de tintas decorativas.

4.2.1 Definição do Processo de Produção

O processo de fabricação de tintas decorativas a base de solvente, conforme mostra a figura 38, basicamente segue as seguintes etapas:

- pesagem – processo de separação de materiais nas quantidades que perfarão o lote de tinta;
- dispersão – processo de umectação das partes sólidas no líquido;
- moagem – processo de quebra dos pigmentos em partículas menores;
- completagem – processo de mistura de componentes como solventes, aditivos, resinas e pastas brancas e coloridas;
- envase – processo de enchimento das embalagens com a tinta aprovada;
- expedição – processo de retirada do lote fabricado para início de lote subsequente;
- controle de qualidade – Embora seja uma atividade que não agrega valor no processo de transformação de matérias-primas em tintas, trata-se de uma etapa importante na cadeia estando presente antes do processo de fabricação nos testes efetuados nas matérias-primas, no controle dos parâmetros de processo e no controle final, antes e depois do envase.

Todos os estágios do processo são importantes, afetando consideravelmente a produtividade como, por exemplo, a concentração dos pigmentos e outras propriedades no produto final.

Segundo Horwood (1987), o propósito de dispersão dos pigmentos é sua umectação e separação das partículas ou unitárias de seus aglomerados, provocando a seguir a estabilização no veículo (fração líquida da tinta) escolhido.

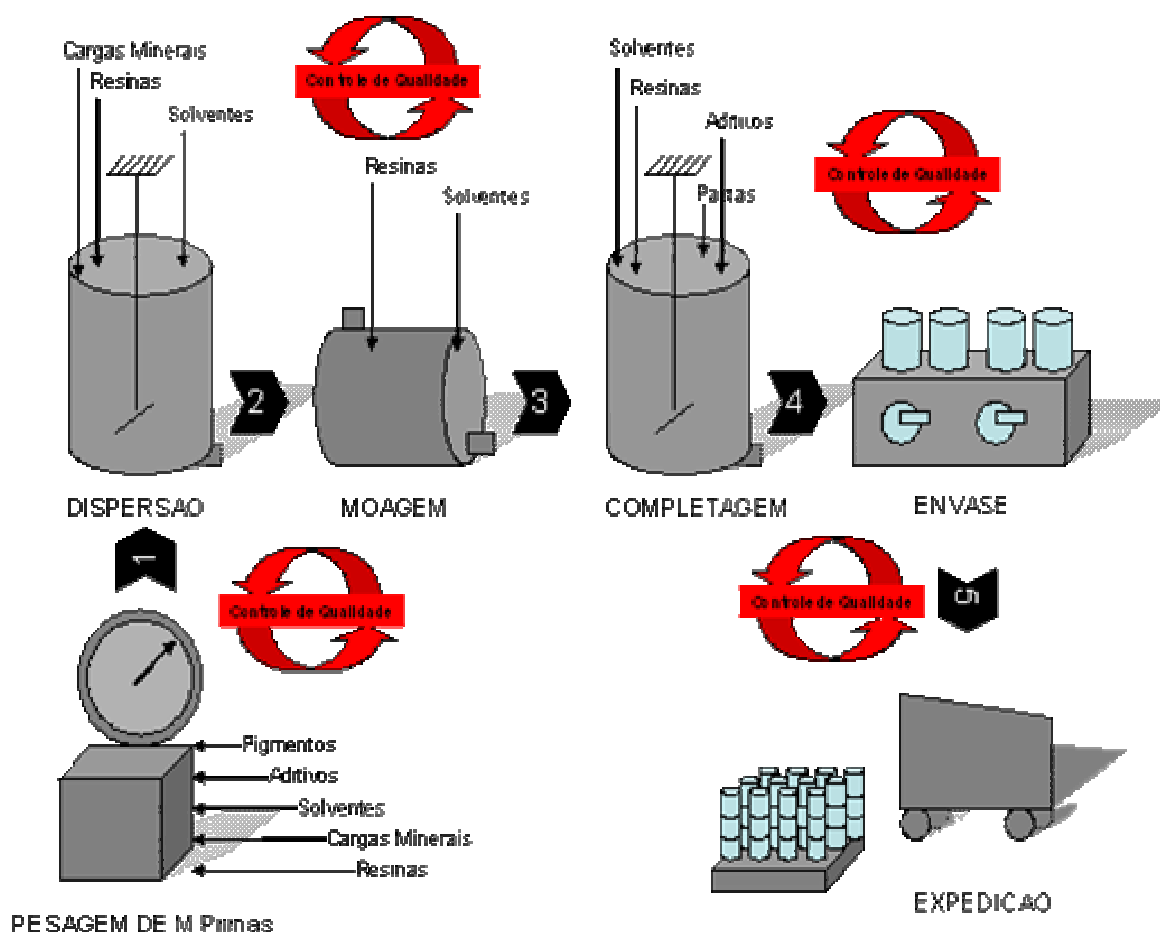


FIGURA 38 – FLUXO TÍPICO DE UM PROCESSO INDUSTRIAL DE TINTAS DECORATIVAS
 FONTE: próprio autor

O processo de dispersão é freqüentemente chamado de moagem e se caracteriza pela aplicação de forças de *cisalhamento*⁵ aos agregados de pigmento. A durabilidade de certos pigmentos sensíveis às forças de cisalhamento, além do poder de *tingimento*⁶ e a limpeza da cor final dos concentrados, são extremamente afetadas pela capacidade de umectação do veículo, que por sua vez altera também os tempos de processamento.

4.3 DEFINIÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS

⁵ Tensão de Cisalhamento ou Tensão de Corte: “é um tipo de tensão gerado por forças aplicadas em sentidos opostos, porém em direções semelhantes no material analisado. Exemplo: a aplicação de forças perpendiculares mas em sentidos opostos. Um fluido é uma substância que se deforma continuamente quando submetida a uma tensão de corte, não importando o quão pequena possa ser essa tensão. No contexto histórico, a tensão cisalhante já foi muito contestada, inclusive por décadas, foi tida como inexistente. Sua comprovação deve-se a Terzaghi (pai da Mecânica dos solos) que fez inúmeros ensaios com solos na década de 1930, onde correlacionou diversos aspectos solistas com as tensões cisalhantes calculadas teoricamente.”

Fonte: (FAZENDA, 1995)

⁶ Tingimento: na indústria de tintas decorativas, “tingimento significa o ato de fornecer cor à tinta, alterando a sua cor natural, tornando-a possível de ser combinada com os mais diversos tipos de ambiente.”

Fonte: (FAZENDA, 1995)

Segundo Roberts (1968), os componentes básicos de uma tinta são:

RESINA – Parte não volátil da tinta que serve para aglomerar as partículas de pigmentos. A resina também denomina o tipo de tinta ou revestimento empregado. As classificações da tinta, segundo a propriedade da resina, são:

- acrílicas;
- alquídicas;
- epoxídicas;
- fenólicas.

O tipo de formação do filme de tinta está relacionado com o mecanismo de reação do sistema polimérico, embora outros componentes, como solventes, pigmentos e aditivos, tenham influência para acelerar e até inibir essas reações.

PIGMENTOS E CARGAS MINERAIS – Material sólido finamente dividido e insolúvel no meio, utilizado para conferir cor, opacidade, certas características de resistência e outros efeitos.

São divididos em pigmentos coloridos e não coloridos e anticorrosivos, por conferir proteção aos metais.

O pigmento possui poder de cobertura, característica esta de poder conferir cobertura do substrato, existindo, assim, pigmentos que conferem maior ou menor poder de tingimento.

Geralmente as cargas minerais possuem poder de cobertura inferior aos pigmentos coloridos.

ADITIVOS – Trata-se de ingredientes que, adicionado às tintas, proporciona características especiais às mesmas ou melhorias nas suas propriedades.

Utilizado para auxiliar nas diversas fases de fabricação e conferir características necessárias a aplicação.

Existe uma variedade enorme de aditivos usados na indústria de tintas e vernizes, como os secantes, anti-sedimentantes, niveladores, antipele, antiespumante etc.

SOLVENTES – Líquido volátil, geralmente de baixo ponto de ebulição, utilizado nas tintas para dissolver a resina. São classificados em solventes ativos ou verdadeiros, latentes e inativos.

4.4 DEFINIÇÃO DO PRODUTO

Segundo Mattiello (1946), o produto tinta decorativa à base de solvente é uma composição líquida, geralmente *viscosa*⁷, constituída de um ou mais pigmentos dispersos em um aglomerante líquido que, ao sofrer um processo de cura quando estendida em película fina, forma um filme opaco e aderente ao substrato. Esse filme tem a finalidade de proteger e embelezar as superfícies. A tabela 17 define o escopo dos produtos envolvidos no experimento.

TABELA 17 – CARACTERÍSTICAS DAS TINTAS DECORATIVAS À BASE DE SOLVENTE

Produto	Aplicação	Local de Aplicação	Acabamento	Observações	Composição
Suvinil e Glasurit Esmalte Brilhante	Madeiras e metais	Exterior e interior	Brilhante	- facilidade de aplicação - brilho - resistência às agressões do tempo - fórmula siliconada - menor aderência de sujeira - toque deslizante - rendimento - baixo odor	Resina alquídica à base de óleo vegetal semi-secativo, pigmentos orgânicos e inorgânicos, cargas minerais inertes (acetinado e fosco), hidrocarbonetos alifáticos, secantes organo-metálicos. Não contém benzeno.
Suvinil Esmalte Acetinado	Madeiras e metais	Exterior e interior	Acetinado	- facilidade de aplicação em madeira e metal - sofisticação - acabamento com brilho suave - rendimento	Resina alquídica à base de óleo vegetal semi-secativo, pigmentos orgânicos e inorgânicos, cargas minerais inertes (acetinado e fosco), hidrocarbonetos alifáticos, secantes organo-metálicos. Não contém benzeno.
Suvinil Esmalte Fosco	Madeiras e metais	Interior	Fosco	- facilidade de aplicação em quadros escolares (lousas), madeira e metal. - rendimento para aplicação em superfícies de metal Baixo odor.	Resina alquídica à base de óleo vegetal semi-secativo, pigmentos orgânicos e inorgânicos, cargas minerais inertes (acetinado e fosco), hidrocarbonetos alifáticos, secantes organo-metálicos. Não contém benzeno.

FONTE: BASF, 2009

⁷ Viscosidade: “ é a propriedade dos fluidos correspondente ao transporte microscópico de quantidade de movimento por difusão molecular. Ou seja, quanto maior a viscosidade, menor a velocidade em que o fluido se movimenta. É comumente percebida como a "grossura", ou resistência ao despejamento. Viscosidade descreve a resistência interna para escoar um fluido e deve ser pensada como a medida do atrito do fluido. Assim, a água é "fina", tendo uma baixa viscosidade, enquanto óleo vegetal é "grosso", tendo uma alta viscosidade”.

FONTE: (FAZENDA, 1995)

4.5 FASE DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

O processo de envase de tintas decorativas possui inúmeras Interfaces entre o homem e máquina, denominados *IHM*⁸. A falta de automatização dos processos é inversamente proporcional à participação da interface homem e máquina, aumentando a possibilidade de falhas ao decorrer do processo. O esquema do processo de envase abaixo conforme mostra a figura 39, deixa claro o número de interfaces homem e máquina que serão estudados neste experimento, objetivando reduzir ao máximo as variações existentes entre eles. Como premissa, dever-se-ia obter resultados positivos sem a automação ou autonomia das interfaces. Para isso necessitou-se explorar a metodologia Seis Sigma para entender quais as interações existentes entre as diferentes IHM que realmente possuíam forte correlação referente ao baixo volume envasado, interferindo na produtividade do envase e por conseqüência não atendendo o volume requerido e planejado. O aumento de horas extras necessárias para alcançar a meta de envase deveria ser eliminado com o aumento proposto da produtividade. Na seqüência, determinaram-se as causas que geravam as falhas para posteriormente alavancar as melhorias, testando cada uma delas sob o ponto de vista da estatística, a fim de se verificar sua eficácia e eficiência no processo por meio da produtividade final. Na última fase estabeleceram-se controles com o intuito de fornecer ao processo sustentabilidade as ações tomadas.

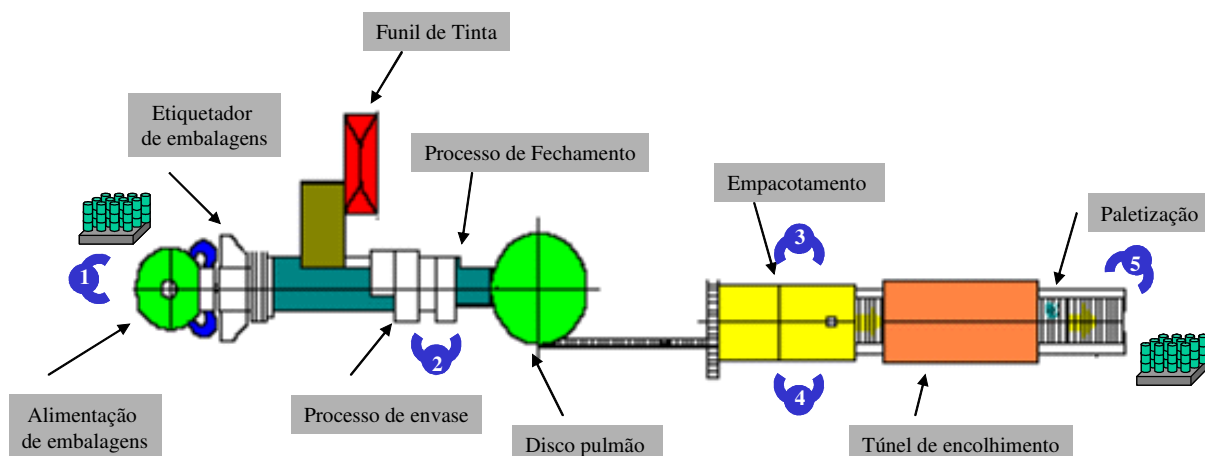


FIGURA 39 – ESQUEMA DE ENVASE DE TINTAS E RESPECTIVAS INTERFACES

FONTE: próprio autor

⁸ IHM: Interface Homem Máquina refere-se à ação do homem para operação do equipamento, como por exemplo, no acionamento de comandos por meio de painéis eletrônicos.
Fonte: Próprio Autor

IHM 1 – Alimentação de Embalagens

O processo de alimentação de embalagens na máquina de envase é realizado por meio do operador 1, manualmente, transportando a embalagem do pallet para o disco alimentador.

IHM 2 – Operação da Máquina

O operador 2 é responsável por realizar os ajustes de envase, sendo:

- fluxos de enchimento e sucção de tinta;
- velocidade da esteira;
- volume de envase;
- ajuste das guias do tampador;
- ajuste do etiquetador;
- ajuste do tampador.

IHM 3 e 4 – Empacotamento

Os operadores 3 e 4, depois da tinta envasada, realizam o empacotamento das embalagens em bandejas e filmes termo – encolhível (filme plástico que se contrai com o aumento da temperatura) .

IHM 5 – Paletização

O operador 5 realiza o processo de paletização, retirando as embalagens da máquina formando os paletts, para posterior expedição dos mesmos para o estoque.

O problema estudado nesta dissertação refere-se justamente à baixa produtividade da máquina frente ao potencial que a mesma poderia chegar conforme comparativo na tabela 18, que ilustra a produtividade nominal (fornecida pelo fornecedor na máquina) *versus* média da produtividade encontrada antes da implementação da metodologia Seis Sigma.

TABELA 18 – PRODUTIVIDADE NOMINAL E REAL DA MÁQUINA DE ENVASE DEVREE II

Tipo de embalagem utilizada para o envase relação 80:20	Volume nominal de envase por turno de trabalho em litros	Valor real envasado por turno de trabalho em litros
galão – 3,6 litros	30.000	14.500
quarto de galão – 0,9 litros	14.000	11.500
média de envase com relação 80:20	26.800	13.300

Para efeito de cálculo para o envase, levou-se em consideração a relação 80:20 ou seja 80 partes de galões e 20 partes de quartinhos (quartos de galão) respectivamente.

A relação de envase é fixa e determinada pela área de planejamento e programação de fábrica. As médias de envase para galões e quartos de galão estão dispostas na tabela 18, bem como a média referente à relação 80:20, condição normal do envase.

Outro fator importante para o cálculo da produtividade é fixar a disponibilidade de 6,5 horas para o envase por turno de trabalho.

A figura 40 retrata a média de envase antes da aplicação do Seis Sigma na máquina de envase Devree II, antes do aprimoramento deste por meio da Metodologia Seis Sigma.

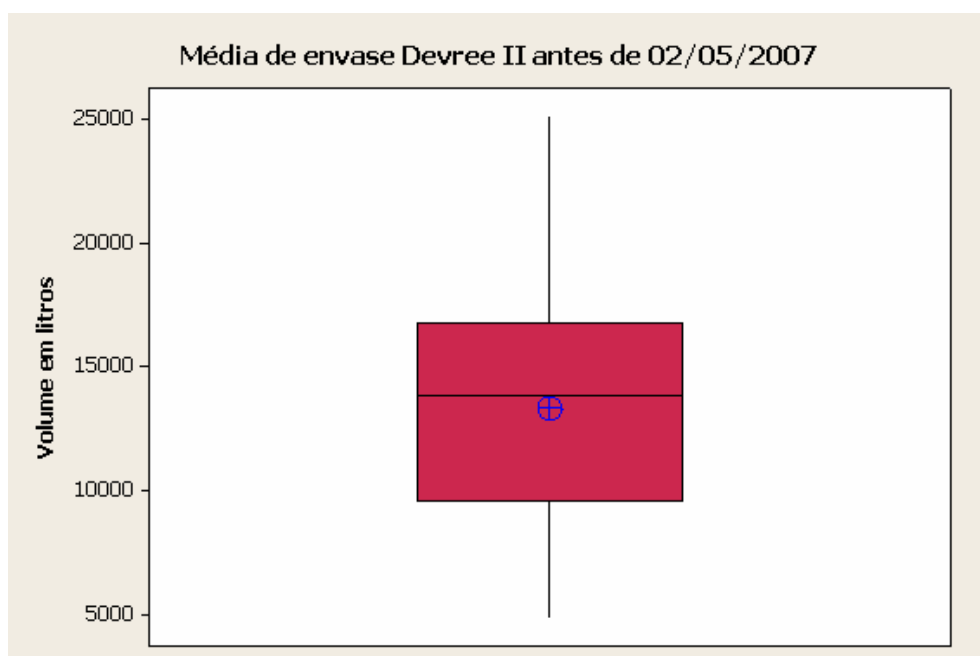


FIGURA 40 – MÉDIA DE ENVASE ANTES DA MELHORIA

FONTE: reprodução gráfica gerada pelo software *Minitab*

A leitura da análise *boxplot* evidencia as seguintes informações para os volumes envasados antes de 02/05/2007:

- média do envase: 13.336 litros por turno
- maior valor alcançado: 25.000 litros por turno
- menor valor alcançado: 5.000 litros por turno
- valor que mais ocorreu nos registros: em torno de 14.000 litros por turno

4.5.1 Formação do *Team Members*

Paralelamente ao treinamento de formação dos colaboradores em Black Belt, a liderança determinou os projetos de melhoria que seriam tratados por meio da metodologia Seis Sigma ao final do treinamento. Seqüencialmente, o *Sponsor* e o *Black Belt* designaram quem faria parte do *Team Members*, escolhendo os respectivos componentes do grupo para o desenvolvimento do experimento. A participação indireta de outros processos como o de Recebimento de Materiais, Desenvolvimento, Planejamento, Controle de Qualidade e Expedição, auxiliaram no projeto fornecendo suporte quando necessário.

Na tabela 19 têm-se as funções e responsabilidades do *Team Members* que foram determinantes para o desenvolvimento do trabalho:

TABELA 19 – FUNÇÕES DO *TEAM MEMBERS* NO EXPERIMENTO

FUNÇÃO	TAREFA
Supervisor	<i>Black Belt</i> do Projeto – responsável pela condução do <i>Team Members</i> .
Engenheiro de processo	Pessoa especializada na engenharia de processo, verificando viabilidade das ações de melhoria sob o aspecto das operações unitárias.
Operador de Máquina	Pessoa treinada e responsável pela operação das máquinas de envase com riqueza de detalhes.
<i>Sponsor</i>	Gerência direta, cliente do projeto. Pessoa para quem o projeto é entregue ao final do mesmo. Faz também o papel do facilitador.
<i>Champion</i>	Diretor de Fábrica e líder de outros projetos. Pessoa que libera os recursos necessários para a realização do projeto.
Engenheiro de Manutenção	Especialista na área de engenharia de manutenção. Orienta em relação às características mecânicas, elétricas e pneumáticas dos equipamentos.
Mecânico de Manutenção	Pessoa responsável pelo funcionamento dos equipamentos. Realiza a manutenção nos equipamentos na fábrica.
Analista de Manutenção	Possui informações de quebras das máquinas e interage diretamente com a fábrica, principalmente com a supervisão nas atividades que serão realizadas.
Colorista	Especialista em cor. É quem auxilia no processo de <i>Set-up</i> ⁹ das máquinas de envase. Possui conhecimento das características físico-químicas das tintas.
Analista de Programação	Pessoa que define quais tintas deverão ser envasadas em um determinado período.
Planejamento	Área que determina o volume e o tipo de embalagem que deverá ser utilizado para compor a demanda do mês.

FONTE: próprio autor

⁹ Set-up: é o tempo decorrido para a troca (ferramenta, programa, equipamento) de um processo em execução até a inicialização do próximo processo.
Fonte: Ohno, 1997

4.5.2 Cronograma da Implementação do Seis Sigma

Por meio da tabela 20 temos o cronograma do projeto.

TABELA 20 – CRONOGRAMA DO PROJETO

Nome da Atividade	2º sem. 2007	1º sem. 2008	2º sem. 2008
DEFINIR			
Definir Equipe.	x		
Treinar a equipe na metodologia Seis Sigma.	x		
Fazer o SIPOC.	x		
Identificar a Voz do Cliente.	x		
Transformar VOC em CTQs e CTBs.	x		
Estimar as economias "savings".		x	
Fazer o charter do projeto (problema, enunciado, cliente, equipe, economias,.).	x	x	
Mapear o processo.	x		
MEDIR			
Fazer a matriz de causa e efeito;	x		
Realizar coleta de dados;		x	x
Estatística descritiva do Y;			x
Avaliar a capacidade do Y;			x
ANALISAR			
Realize estratificações (box plot, efeitos principais, multi vari chart, Pareto)		x	x
Faça o diagrama de causa e efeito;		x	
Faça testes de hipóteses (com base no diagrama de causa e efeito);		x	x
MELHORAR			
Criar idéias inovadoras para soluções potenciais;		x	
Selecionar as principais variáveis de entrada;		x	x
Realizar experimentos para a otimização do Y (caso necessário);		x	x
Planejar a implantação (estratégia, plano de ação, avaliação de resultados, cronograma, etc);			x
Confirmar se os resultados atenderam ao objetivo;			x
CONTROLAR			
Monitoramos as variáveis críticas;			x
Implantar gráfico de controle; (caso necessário)			x
Analisar a capacidade final;			x
Criar o plano de controle;	x	x	x
Documentar o processo, novas oportunidades e lições aprendidas;			x

FONTE: próprio autor

A fase Definir do DMAIC possuiu vital importância no desenvolvimento do experimento, dando diretriz para o *Team Members*, de forma clara e objetiva tendo como propósito essencial iniciar adequadamente o projeto, atingindo assim, os objetivos esperados. As dificuldades concentraram-se na escolha do *Team Members* e não somente na definição do problema explorado. Os nomes escolhidos para formação do mesmo foram designados pelo *Sponsor e Black Belt*, porém, em detrimento do modelo desenhado para desenvolvimento dos projetos, onde o *Team Members* acumulava as tarefas rotineiras com o desenvolvimento da metodologia, houve situações em que a substituição do nome escolhido foi necessária.

4.5.3 Charter do Projeto

O Charter do Projeto é um documento vivo, podendo este ser alterado onde ocorre mudança significativa no processo, deve ser evidenciado e devidamente analisado pelo Sponsor do Projeto. Nele são estabelecidas as metas do projeto, benefícios para a empresa, cronograma de implementação, métricas envolvidas, conforme demonstrado na tabela 21.

4.5.4 SIPOC do Projeto

O Sipoc foi elaborado juntamente com o *Team Members* definindo primeiramente as etapas relevantes do processo de envase e respectivas entradas e saídas, bem como a cadeia de fornecedores e clientes envolvidos em cada uma delas.

A classificação das entradas demonstra se a mesma, no contexto analisado, apresenta-se como não conforme (NC) ou conforme (C), assim como as observações para cada uma das etapas, ajudando nas tomadas de ações.

A sigla PIO significa Planejamento Integrado das Operações, e trata-se de outro *Team Members* com responsabilidade sobre a priorização das necessidades de demanda e programação de paradas para manutenção dos equipamentos.

TABELA 21 – CHARTER DO PROJETO

Enunciado do projeto:	Aumentar em 20% a produtividade do envase na Devree II por turno trabalhado.				
Divisão:	Tintas e Vernizes		Setor:	Fábrica I	
Família de produtos/serviços:	Esmaltes Base Solvente e Água		Tipo de projeto	Black Belt	
Black Belt	William Habib Lucas Chahade		Sponsor e/ou Proprietário	xx	
Champion	xx		Membros da equipe	xx	
Data de início do projeto:	2º semestre de 2007		Data alvo para completar o projeto:	2º semestre de 2008	
Elemento	Descrição	Preencher			
1. Definição do problema:	Descrever o problema a ser resolvido (O que, onde, como, ...).	Linha de envase Devree II com Capacidade de Envase inferior a requerida.			
2. Processo impactado:	Descrever o processo onde existe a oportunidade de melhoria.	Processo de envase de Esmaltes Coloridos Base Solventena máquina Devree II, compreendido entre a alimentação de embalagens e a palletização das mesmas.			
3. Clientes e CTQs:	Quem são os clientes finais e quais são os seus requisitos críticos?	Clientes Externos:			
		Clientes Internos: Supply Chain e Administração de Vendas			
4. Benefícios para a empresa	Descrever a relevância para as estratégias e objetivos do negócio.	Aumento da produtividade com disponibilização de capacidade e possível redução de custo para atendimento da demanda.			
5. Restrições	Descrever quais as restrições do projeto.	Necessidade de verba não aprovacionada para desenvolvimento de melhoria. Disponibilidade de pessoas para levantamento de dados e reuniões do projeto.			
6. Escopo do projeto:	Qual parte do processo será (e qual não será) investigada?	Parte Incluída:			
		Todo processo de envase da Devree II.			
		Parte Excluída:			
7. Objetivos e métricas:	Métricas	Desempenho atual	Meta para o final do projeto	Limite	Unidade
Definir desempenho atual, projeções, metas para o projeto e o alvo de melhoria no melhor caso. Definir e usar as métricas apropriadas: capacidade, nível sigma, custo da baixa qualidade	Litros envasados por turno	13,3 mil l/turno	16,0 mil l/turno	20 mil/turno	litros por turno
8. Outras metas:	Descrever outras métricas (caso seja necessário)	diminuição do número de paradas decorrentes de manutenção			
Benefícios dos aprimoramentos	9. Benefícios econômicos do projeto	Hard dollar (US\$ real):	xx		
		Soft dollar (US\$ potencial):	xx		
10. Agenda:	Datas	Início	Revisão com Sponsor		Finalização
	Definir	03/05/07	03/05/07		03/05/07
	Medir	03/05/07	17/05/07		31/05/07
	Analisar	01/06/07	28/06/07		31/07/07
	Aprimorar	01/08/07	16/08/07		30/06/08
	Controlar	01/09/07	20/09/07		31/07/08
11. Data da apresentação final (aprovada pelo Sponsor)	31/08/2008				

FONTE: adaptada de Campos, 2007

Verifica-se o SIPOC por meio da tabela 22.

TABELA 22 – TABELA SIPOC

Fornecedores	Entradas - x's	Classificação das entradas	Passos do processo	Saídas - y's	Clientes	Comentários; Notas; Questões
Supervisor/ Programador	Seqüência anterior	C			envase	
Programação	Urgências	NC	Definição da seqüência de envase	Solicitação de Embalagens		A seqüência de envase depende da data de previsão de entrega e das urgências de planejamento, definidas no PIO. Também são premissas para se definir a seqüência de envase, obedecer a compatibilidade entre produtos, a fim de se obter o menor set-up possível
Planejamento	Embalagem disponível	NC				
Supervisor Programador	Seqüência definida	C		Embalagem na fábrica	envase	A solicitação de embalagens ocorre quando a seqüência de envase é definida. A embalagem em estoque supre o alcance de apenas três dias, de forma que, se adiantarmos muito o processo de uma tinta (mais de um dia), corremos o risco de alterarmos a seqüência
	Ter embalagem em estoque	NC	Solicitação de Embalagens			
Supervisor	Definição da seqüência	C				
Programador	Tinta aprovada	C	Envase		expedição	O envase é o "gargalo" da fábrica, de forma que qualquer atraso seja ele qual for a origem, possivelmente não será recuperado sem que haja despendimento de H.E, e ou remanejamento de pessoas quando existir máquinas disponíveis.
	Embalagem na Fabrica	C		Material expedido		
	Tinta alinhada na preparação	C				

FONTE: adaptada de Campos, 2005

4.5.5 Tabela Quad

A tabela Quad demonstrada por meio da tabela 23 é um resumo das fases do projeto, contendo as seguintes informações:

- ações realizadas;
- itens pendentes;
- barreiras encontradas;
- sucessos obtidos;
- e próximos passos a serem realizados para a continuidade do projeto.

TABELA 23 - TABELA QUAD SEIS SIGMA

Eng ^a de Campo: x Produção: xx Produção: xxx Suporte a programação: xxxx Controle Qualidade: xxxxx	Conforme Atas de Reuniões
Ações Realizadas	Próximos Passos
Levantamento de dados, agendamento das reuniões de acompanhamento, definição de cronograma.	Medir variáveis importantes para o processo, definir novas responsabilidades
Itens Pendentes / Barreiras:	Sucessos Obtidos:
Disponibilidade de verba; Disponibilidade de recursos, Levantamento de dados, Dados fidedignos, Comprometimento de todos com o tempo demandado.	Levantamento de dados que nos possibilitou nortear os próximos passos.

FONTE: adaptada de Campos, 2005

4.5.6 Voz do Cliente

A tabela 24 a seguir mostra as características críticas em função das necessidades do cliente, neste caso o *controller* (controlador dos custos) da área e planejamento de materiais. A redução dos custos foi baseada nas questões chave e apresentadas na conclusão deste trabalho.

TABELA 24 – TRADUÇÃO DA VOZ DO CLIENTE EM REQUISITOS DO CLIENTE

VOC (Voz do Cliente)	Questões chave ou listas centrais
Material não entregue na data correta	Índice de atendimento
Não atendimento da demanda	Produtividade l/h/h
Alto custo de produção (DGF)	Número de paradas
Material fora da especificação	% Treinamento na atividade

FONTE: próprio autor

4.5.7 Tabela RACI

A tabela RACI possui a função de demonstrar as ações a serem tomadas em função das atividades e integrantes, conforme tabela 25 abaixo. A tabela por várias vezes consultada a fim de minimizar as dúvidas referentes ao processo de implementação do Seis Sigma.

TABELA 25 – TABELA RACI

Atividades	William	x	xx	xxx	xxxx	xxxxx	xxxxxx	xxxxxxx	xxxxxxxx
Reunir a equipe	R	A	A	A	A	A	I	C	I
Levantar dados	R	R	R	R	R	R	R	I	I
Aprovação de recursos adicionais	A	I	I	I	I	I	I	R	R
Implementar ações	R	A	A	A	A	A	A	R	I
Executar as ações propostas	R	A	A	A	A	A	A	I	I
Conduzir as reuniões	R	I	I	I	I	I	I	I	I
Desenhar e desenvolver protótipos	R	A	A	I	I	I	A	C	I
Revisar procedimentos	R	A	A	A	I	I	A	C	I
Cotar novos recursos	R	A	A	A	I	I	I	C	I
Criar folhas de registros	R	A	A	A	A	A	A	I	I
R - Responsável		A - Analista							
C - Consultado		I - Informado							

FONTE: adaptada de Campos, 2005

4.6 FASE MEDIÇÃO DOS DADOS COLETADOS

Esta fase demonstrou a necessidade de importante demanda em relação ao recurso mão de obra, havendo a necessidade do desenvolvimento de um banco de dados para a alimentação das informações do envase, juntamente com a criação de tabelas para registros dos dados de envase pelo próprio operador (o tipo de coleta eletrônica de dados por meio de computadores tornou-se inapropriado devido o local de envase apresentar riscos de explosão, consequência da utilização de solvente no processo). Outros dados foram levantados a partir de planilhas já existentes no processo.

O nível Sigma do processo não foi calculado devido ao foco de o experimento estar baseado na melhoria da produtividade por meio das ações propostas, e não pela redução do desvio padrão, o qual demandaria a troca do equipamento. Investimento não disponível.

4.6.1 Matriz de Causa e Efeito

A matriz de Causa e Efeito foi um referencial para tomada de ações, embora fornecesse informações de entrada para o desenvolvimento da FMEA, esta não necessitou ser realizada, em função das características das ações implantadas no processo de melhoria do envase. Não se trata do resultado das ações, mas sim no estudo preventivo sobre os impactos causados frente à relação de causa e efeito entre as etapas do processo e as deficiências encontradas no SIPOC. A sigla DGF na terceira linha da tabela 26 significa custo de produção da tinta.

TABELA 26 – MATRIZ CAUSA E EFEITO

Classificação segundo a importância para o cliente (interno ou externo)		4	7	3	3	8	8	
		1	2	3	4	5	6	
saídas do processo (variáveis dependentes)		numero de quebras por mês	volume envasado por hora	numero de set ups de cor por mês	numero de set ups de embalagens por mês	DGF	Indice de atendimento	Total
Etapas do processo	Variáveis de entrada do processo (independentes)							
1	Definição da sequencia de envase	1	9	9	9	6	6	217
	urgencias	0	3	2	2	1	3	65
	embalagem disponível em	0	3	0	6	1	6	95
2	Solicitação de embalagem	0	1	1	3	3	1	51
	Ter embalagem em estoque	0	1	1	0	1	3	42
3	Definição da sequencia	1	9	9	9	6	6	217
	tinta aprovada	0	1	1	1	1	3	45
	embalagem na fabrica	1	1	1	6	3	3	80
	tinta alinhada na preparação	0	3	1	1	3	1	59
Total		12	203	69	102	168	224	

FONTE: adaptada de Campos, 2005

4.6.2 Plano para Coleta de Dados

Elaborou-se o plano para coleta de dados para armazenar as informações geradas no processo de envase, conforme mostra a figura 41, possibilitando analisar estatisticamente os dados em tempo real, gerando ações de correção em tempo hábil. Antes do projeto estes eram armazenados em papéis, impossibilitando a análise imediata para tomada de decisão de forma eficaz.

A figura 41 é um exemplo de utilização do banco de dados desenvolvido para armazenamento dos dados, cuja saída de informações possibilita atuação imediata na tomada de decisão.

Ficha	Data	Supervisão	Turno	Operador	Máquina	A válvula do cilindro de CO2 está aberta?	A pressão da linha de CO2 é maior que 50 Bar?
4316	24/09/2008	William	2ª	Tiago	III	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Tanques	Embalagem	Lotes	Início do envase	Término do envase	Litragem	Set up	Início set up	Término do set up	Observações
3040	3,6	2924274	14:00:00	20:20:00	11908		18:20:00	20:10:00	
3048	3,6	2924269		21:45:00	5184				
					0				
					0				
					0				

Paradas	Perda Adm café	Falta de recursos	Falta de Materiais	Falta de recursos
início parada	15:30:00	15:55:00	16:20:00	16:45:00
término da parada	15:45:00	16:10:00	16:30:00	17:05:00
Observações		Falta de empilhadeira.	Falta de embalagem.	Falta de empilhadeira.

Paradas	Perda Adm refeição	Falta de recursos	Retirada de Amostras
início parada	18:30:00	20:30:00	20:10:00
término da parada	19:30:00	21:10:00	20:20:00
Observações		Trabalhamos com quatro colaboradores.	

segunda-feira, 29 de setembro de 2008 15:14:01

FIGURA 41 – PLANILHA DE PREENCHIMENTO DOS DADOS DE ENVASE
FONTE: reprodução gráfica gerada pelo banco de dados em Access

A fase “medir” apresentou considerável complexidade em relação ao seu desenvolvimento, devido ao fato de serem requeridas atividades extras para o pessoal operacional, como a alimentação de novas planilhas, requerendo atenção e trabalho redobrado devido ocorrer simultaneamente com as atividades rotineiras. A preocupação com esta fase do Seis Sigma necessitou de forte interação com o *Team Members*. A validação dos dados levantados mostrou-se coerente com o objetivo proposto, possibilitando assertividade nas análises posteriores. A responsabilidade pela coleta dos dados foi essencial para as ações subseqüentes referente às outras fases do DMAIC.

4.7 FASE ANÁLISE DO PROBLEMA

Realizou-se o teste de hipótese sobre a amostra a fim de se testar se os dados coletados para o envase seguiam uma distribuição normal, conforme mostra a figura 42.

Conforme conceito definido no item 2.8 pode-se afirmar que os dados de envase do projeto não seguem uma distribuição normal, pois o teste de hipótese apresenta p-value menor que 0,05, rejeitando assim a hipótese nula, prevalecendo à hipótese alternativa, ou seja, dados não normais (dados não seguem uma distribuição normal).

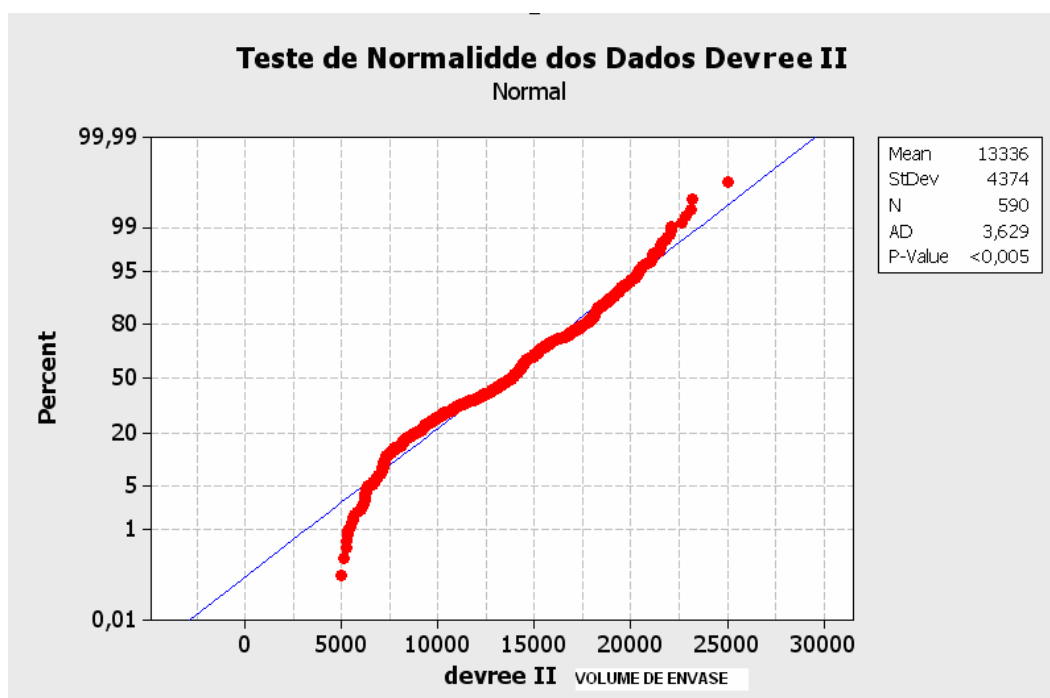


FIGURA 42 – TESTE DE NORMALIDADE PARA OS VOLUMES ENVASADOS
 FONTE: reprodução gráfica gerada pelo software *Minitab*

4.7.1 Histograma do Envase

Verifica-se por meio da figura 43, que existem desvios expressivos entre o menor e maior valor coletado. É possível identificar as frequências com que os volumes ocorrem, ou seja, os valores aproximados de 14.000 litros são os que ocorrem com maior frequência, enquanto os valores aproximados de 5.000 e 25.000 litros são os que ocorrem com menor frequência, e representam os menores volumes envasados.

A média de envase é verificada em *mean* e representa 13.336 litros, o desvio padrão do envase é verificado em *StDev* e representa 4.374 litros, isto para um tamanho de amostra *N* igual a 590 lotes envasados.

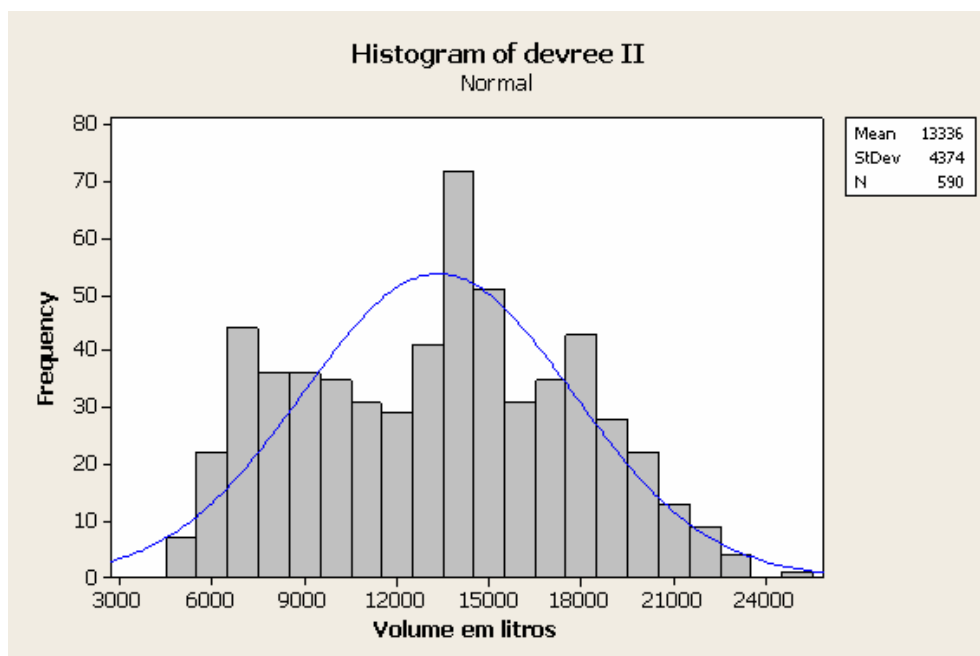


FIGURA 43 – HISTOGRAMA DOS VOLUMES ENVASADOS
 FONTE: reprodução gráfica gerada pelo software *Minitab*

O gráfico de Histograma fornece a informação da distribuição das freqüências de volume de envases coletados. Para 590 dados coletados percebe-se através do gráfico, que existe uma variação importante entre os valores, com desvio padrão de 4.374 litros e com uma média de envase de 13.336 litros. A curva que delimita o Pareto é ajustada para os dados coletados. Percebe-se visualmente que os dados coletados tendem a não ser normais por não possuem simetria com a curva. Daí a necessidade da realização do teste de normalidade já que somente por meio da análise visual, não se recomenda tomar ações sobre as inferências realizadas com relação à população.

4.7.2 *Boxplot* dos Volumes de Envase

Neste gráfico tem-se a informação da localização da dispersão no conjunto de dados do envase nos meses. A mediana é localizada pela linha preta que corta a caixa. O símbolo \oplus representa a média dos valores obtidos em cada análise separada, interligados entre si pela

linha horizontal. A dispersão das observações está entre o valor mínimo, primeiro quartil, terceiro quartil e o valor máximo, conforme figura 44.

Percebe-se que não há outliers presentes no conjunto de dados, o que facilita a análise estatística e descarta a possibilidade de valores discrepantes no conjunto de dados.

Caso houvesse outliers, este seria demonstrado por meio de um asterisco.

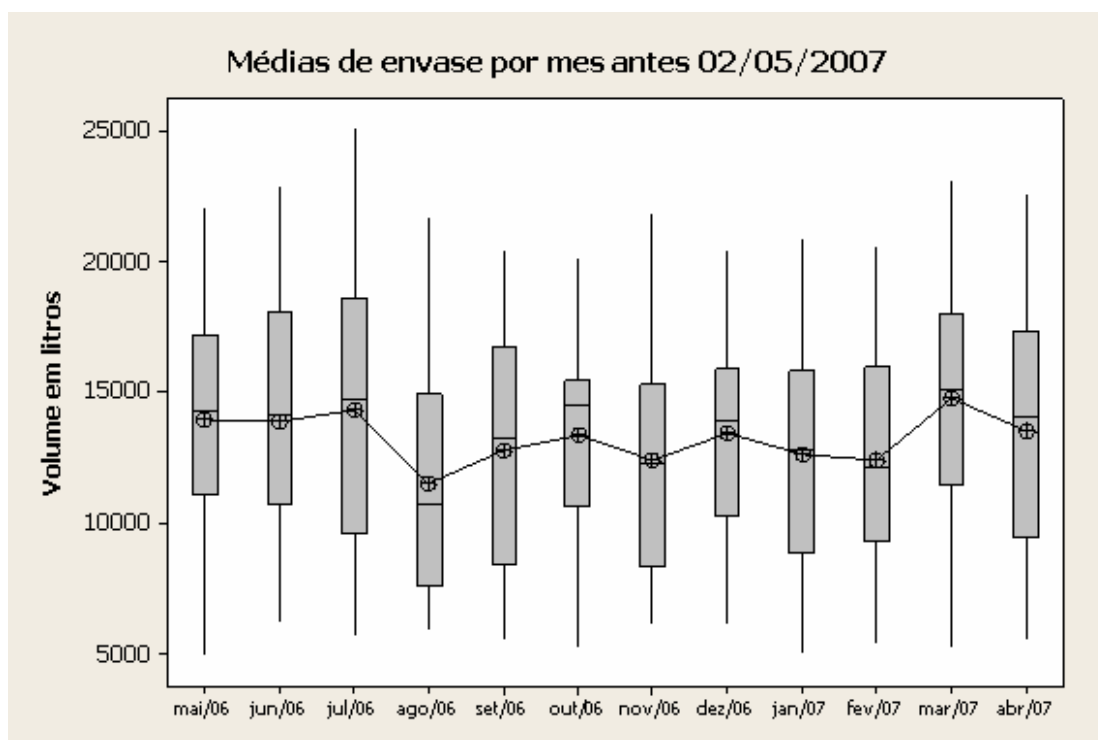


FIGURA 44 – GRÁFICO DE CAIXA PARA OS VALORES DE ENVASE

FONTE: reprodução gráfica gerada pelo software *Minitab*

4.7.3 Análise de Risco

A análise de risco, resultante de vários estudos e saída do *brainstorm*¹⁰, contempla importantes ações que foram determinadas para alavancar a produtividade da máquina de envase. As ações foram avaliadas sob o risco do custo da implementação, retorno financeiro e complexidade da mesma.

¹⁰ Brainstorm: Termo de origem britânica que pode ser traduzido como tempestade ou explosão de idéias, mas as pessoas que o utilizam preferem chamá-lo pelo seu nome original brainstorming. Consiste em reunir um grupo de funcionários com o propósito de gerar idéias e emitir opiniões acerca dos diversos assuntos vivenciados na empresa.

Fonte: Colenghi, 2003

Neste caso especificamente realizou-se uma adaptação à análise de risco, explicada na tabela 27, incluindo as variáveis mencionadas acima, de forma a aproximar as ações à realidade. A análise de *brainstorm* foi executada previamente com o *Team Members* e as idéias resultantes para inclusão na análise de risco foram decididas adotando a experiência de cada um. O *brainstorm* foi realizado levando em consideração o impacto financeiro, complexidade e custo da implementação.

TABELA 27 – ANÁLISE DE RISCO PARA IMPLEMENTAÇÃO DE MELHORIAS

Análise de Risco para Implementação das Melhorias	Retorno financeiro	Complexidade de implementação	Custo de Implementação	Resultado
Aumentar a quantidade de capilares diminuindo o diâmetro dos mesmos por área do bico de envase.	2	3	3	18
Modificar as alças nos galões evitando paradas decorrentes pelo levantamento das mesmas.	2	2	2	8
Adequar o reservatório para possibilitar colocação de telas.	2	3	3	18
Ajustar o <i>spray ball</i> de forma obter maior eficiência na limpeza do reservatório. Plano de Ação	1	3	3	9
Definir o conteúdo do quadro expondo as programações de manutenção e de fábrica (preventivas) de forma evitar quebras. Carrinho de ferramentas.	2	3	3	18
Criar uma tabela que permita visualizar o tipo correto de bico x tinta envasada (dimensionamento dos bicos de envase)	2	3	3	18
Trabalhar com campanhas de quartinho, galão e cores, diminuindo o <i>Set-ups</i> por troca de embalagem	3	2	3	18
Modificar o sistema de abertura e fechamento de litragem e bicos	3	2	3	18
Aumentar a coluna de tinta entre o reservatório e o pistão de envase.	2	3	2	12
Eliminar perdas por paradas indesejadas	3	2	2	12
Adaptar ferramentas de rápida (<i>poka yoke</i>) troca ou ajustes de <i>Set-up</i>	2	2	2	8
Estabilizar a temperatura por tipo de tinta	2	1	1	2

FONTE: próprio autor

4.7.4 Análise de Variância da Viscosidade das Tintas

As tintas podem apresentar viscosidades diferentes umas das outras, conforme mostra a figura 45, porém essas diferenças necessitam ser conhecidas para que posteriormente possam ser adequadas ao processo de modo a torná-lo mais eficiente.

No experimento em estudo, verificaram-se diferenças significativas entre as medianas dos diferentes tipos de tintas envasadas. Percebe-se que as medianas existentes entre as tintas “fo”¹¹ e “alum”¹², são as que apresentam maior variação, enquanto as tintas “to”, “br”¹³ e “glas br”¹⁴, apresentam variações entre as medianas muito próximas uma das outras, e ao mesmo tempo diferentes das tintas “fo” e “alum”.

Conclui-se que existem três tipos de viscosidades significativamente diferentes, sendo:

- A – to, br e glas br
- B – fo
- C – alum

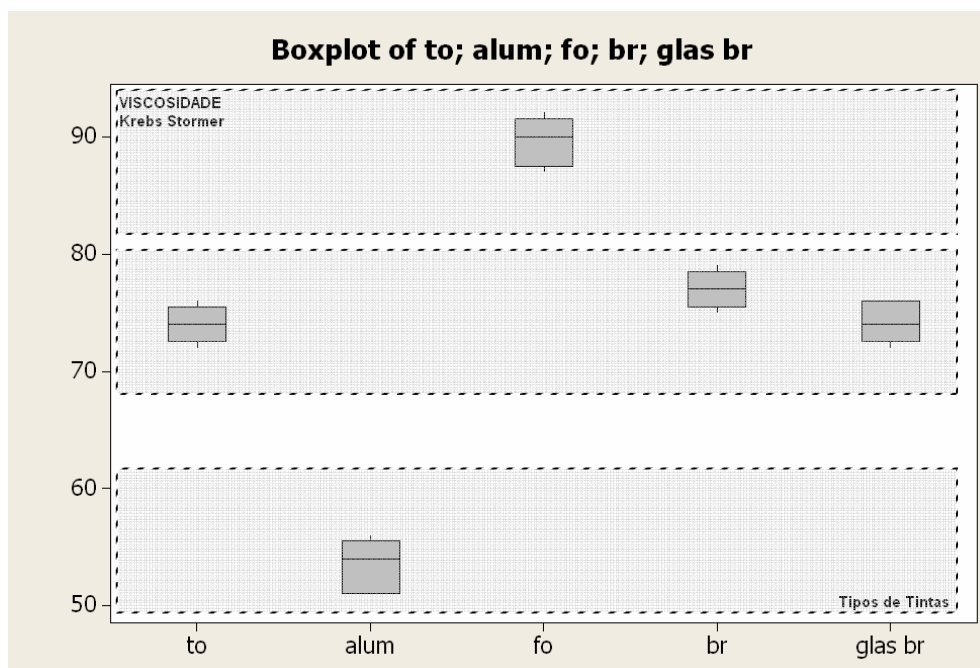


FIGURA 45 – *BOXPLOT* PARA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA VISCOSIDADE
 FONTE: reprodução gráfica gerada pelo software *Minitab*

¹¹ fo: abreviação para Tinta Fosca.

¹² alum: abreviação para Tinta Alumínio.

¹³ br: abreviação para Tinta Brilhante.

¹⁴ glas: abreviação para Tinta Glasurit.

4.7.5 Diferenças no Envase entre Operadores

Quando se comparou a produtividade entre operadores tomou-se o cuidado para ajustar os processos de modo que a única variável significativa fosse somente à troca dos operadores. No experimento abaixo, conforme figura 46, utilizou-se a mesma máquina de envase denominada Devree II e uma mesma gama de tintas para a elaboração do experimento. Também se considerou o mesmo *mix* (mistura) de embalagem para a realização do estudo. Como resultado verificou-se a existência de diferenças significativas entre os operadores em relação ao volume envasado.

Como resultado, as seguintes conclusões foram determinadas:

- os operadores A, B, C e J foram os que possuíram menor desempenho em termos de volume envasado, se comparados, por exemplo, com os operadores D e F;
- os operadores C e E foram os que obtiveram menor dispersão dos valores coletados, embora não satisfatórios em relação ao volume envasado.
- os operadores D e F foram os que possuíram o maior volume de envase, mas também foram os que obtiveram uma das maiores variações dentro do seu próprio grupo de envase.

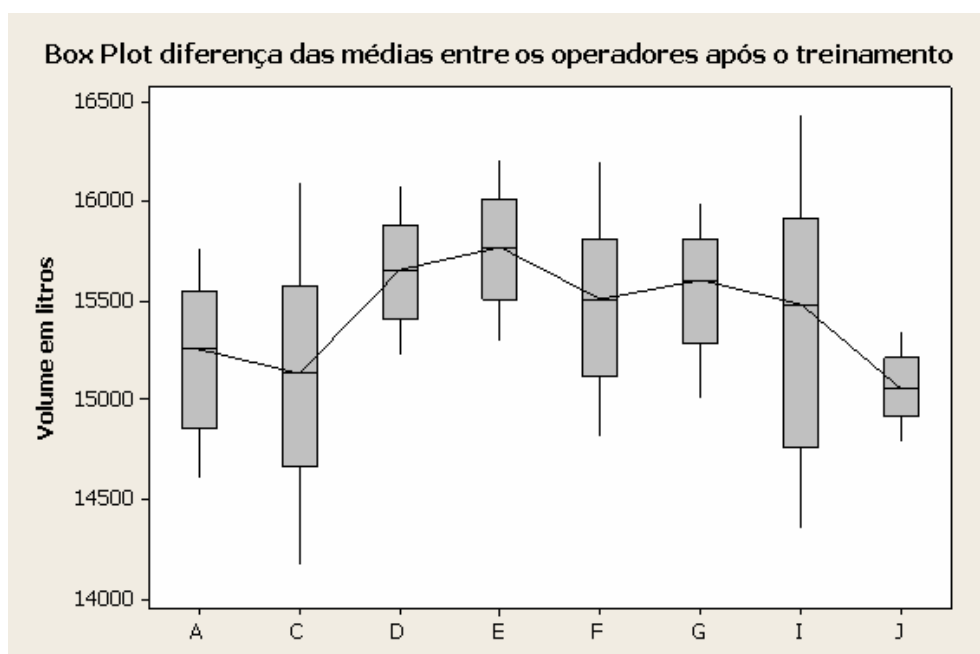


FIGURA 46 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA ENTRE OPERADORES EM RELAÇÃO AO VOLUME ENVASADO
FONTE: reprodução gráfica gerada pelo software *Minitab*

4.7.6 Grupos de Viscosidade

Em outra análise gráfica, comparando as especificações de viscosidade entre os vários tipos de tintas, denotam-se pelo menos três grupos diferentes de viscosidade entre as amostras consideradas. Embora esta análise tenha caráter simples em termos de estudo estatístico, determinaram-se medidas importantes que posteriormente serão elucidadas neste trabalho.

Verifica-se na figura 47, o destaque de três grupos de viscosidades diferentes. O primeiro deles de cima para baixo refere-se ao grupo das tintas cujas viscosidades estão situadas entre 82 e 97 *Krebs Stormer* (unidade de viscosidade utilizada para tintas), ou seja, o de maior viscosidade.

O segundo deles, com viscosidades intermediárias, situados entre 70 e 76 *Krebs Stormer*, e, o último grupo, refere-se às tintas que apresentaram menor viscosidade, variando entre 56 e 62 *Krebs Stormer*. Ainda pode-se considerar um pequeno grupo variando entre 16 a 55 *Krebs Stormer*, apresentando as menores viscosidades medidas se comparadas com as demais tintas.

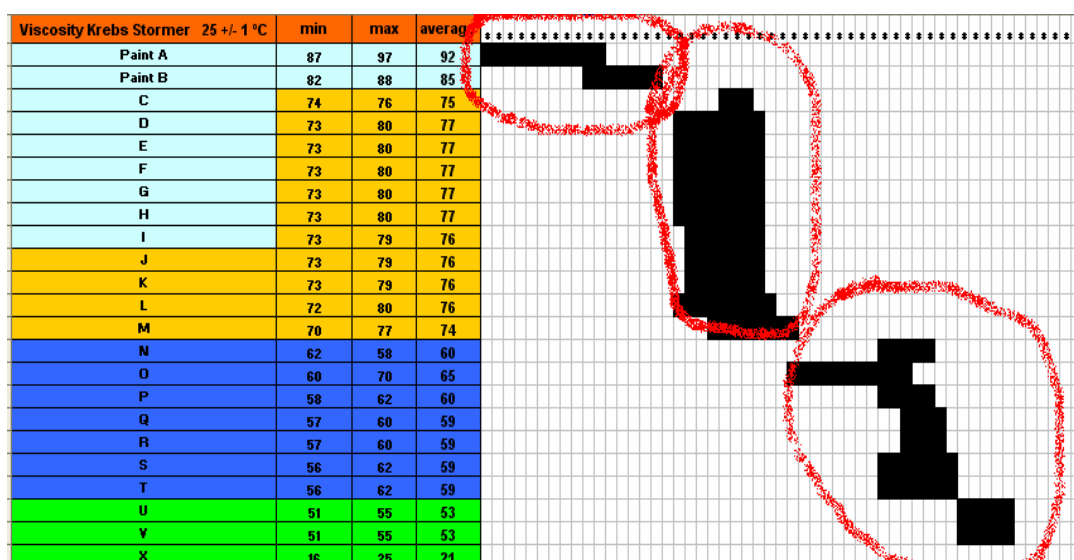


FIGURA 47 – ANÁLISE GRÁFICA DAS DIFERENTES VISCOSIDADES DAS TINTAS ENVASADAS
 FONTE: reprodução gráfica do banco de dados do envase

4.7.7 Tipos de *Set-ups*

Na figura 48 é possível evidenciar os diferentes tipos de *Set-ups* e a ordem em que os mesmos devem ser explorados, função da frequência em que ocorrem. Trata-se de uma análise que separa os poucos problemas vitais dos muitos problemas triviais.

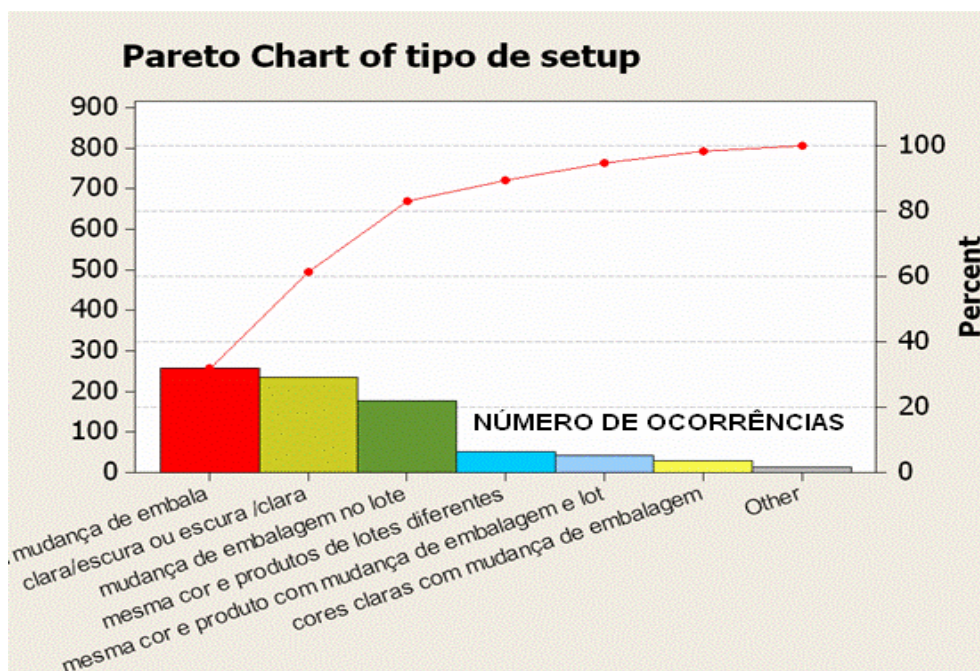


FIGURA 48 – PARETO PARA OS DIFERENTES TIPOS DE *SET-UP*

FONTE: reprodução gráfica gerada pelo software *Minitab*

4.7.8 Grade de Cores e *Set-up*

O número de *Set-ups* e seu respectivo tempo de realização demandam esforços representativos no processo de envase de tintas imobiliárias. A cada troca de cor na máquina de envase há a necessidade de uma adequada limpeza dos componentes da máquina a fim de se evitar contaminação de cor entre a tinta a ser envasada e a anterior. A dificuldade do processo de limpeza é potencializada quando a tinta a ser envasada apresenta tons de cor intensos.

Na fase analisar, predominantemente utilizou-se com maior frequência as ferramentas estatísticas da metodologia Seis Sigma. O fato que apresentou maior dificuldade nesta fase deve-se à disponibilização de tempo para análise dos dados, uma vez que, as atividades

rotineiras se intercalavam com as atividades do Seis Sigma. Algumas empresas optam por deixar o *Black Belts* tempo integral com a ferramenta e ou parte do tempo disponível somente para a tratativa de dados. A BASF, no entanto optou para a realização em conjunto com as atividades destinadas ao projeto e as atividades diárias, não havendo assim, necessidade de se adotar novos recursos de mão-de-obra para o desenvolvimento do projeto.

4.8 FASE IMPLEMENTAÇÃO DAS MELHORIAS

Nesta fase serão demonstradas as principais ações que foram realizadas para melhorar a produtividade do envase. Importante relatar que todas as ações foram resultantes da fase anterior, daí importância de cada fase ser finalizada corretamente, sem desvios. Detalhe importante desta fase foi realizar uma matriz de priorização das ações que foram colocadas em prática, uma vez que existe uma tendência natural de cada integrante do grupo, na análise de *brainstorm*, de colocar suas respectivas idéias em prática.

Nesta fase foi necessário agir com precisão apurada, colocando qualquer tipo de afetividade com o *Team Members*, como forma de seleção das iniciativas. A imparcialidade é fundamental para se definir quais ações de fato trarão retorno para a empresa. Geralmente existem ações brilhantes para solução dos problemas, mas nem sempre as empresas estão dispostas a investir fortunas em equipamentos.

Aumentar a produtividade da máquina por meio dos próprios recursos já existentes sem a aquisição de um novo equipamento permitiria atingir os objetivos propostos sem a necessidade de custos adicionais, característica predominante da metodologia Seis Sigma.

4.8.1 Redimensionamento dos Bicos de Envase

A análise de variância apresentada na figura 45, realizada para verificação das diferenças existentes entre os tipos de viscosidade das tintas, confirma a hipótese de que um único bico utilizado para o envase não era suficientemente capaz para atender todos os tipos de tintas e suas respectivas viscosidades diferenciadas.

Baseado neste fato desenvolveu-se junto ao fornecedor (Devree), bicos de envase com dimensionais diferentes, atendendo as diversas faixas de viscosidades existentes entre as tintas.

As diferenças de dimensional dos bicos de envase importados podem ser compreendidas observando-se o esquema conforme da figura 49 abaixo, onde:

- tinta A, bico apresenta o maior fluxo de tintas com diâmetros de capilares maiores se comparados com os demais tipos de bicos B e C;
- tinta B, bico apresenta diâmetro de capilares intermediários;
- tinta C, bico apresenta diâmetro de capilares menores se comparados com os bicos A e B.

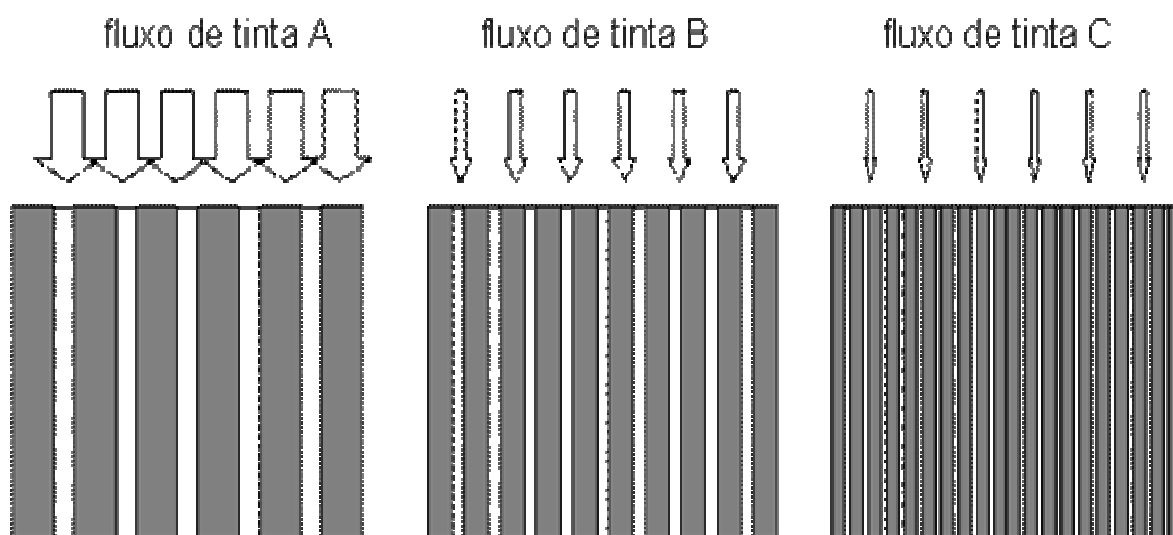


FIGURA 49 – BICOS DE ENVASE E SUAS DIFERENÇAS

FONTE: próprio autor

Os capilares na cor escura representam o diâmetro de passagem da tinta para o envase (visão lateral do bico de envase).

Para a determinação do dimensional dos bicos de envase (variável dependente), levaram-se em consideração três outras variáveis (independentes):

- viscosidade;
- densidade;
- tensão superficial.

Não há uma correlação direta que permita afirmar que a tinta com maior viscosidade deve, por exemplo, ser envasada no bico com maior diâmetro, pois esta afirmação não seria válida se a densidade da tinta em estudo fosse alta e com baixa tensão superficial.

Assim, testes foram realizados para que se pudesse determinar qual bico de envase seria mais adequado para cada grupo de tintas.

Como resultado das alterações dos bicos de envase, tem-se a comparação gráfica por meio das figuras 50 e 51, demonstrando a melhoria da normalidade dos dados após a melhoria.

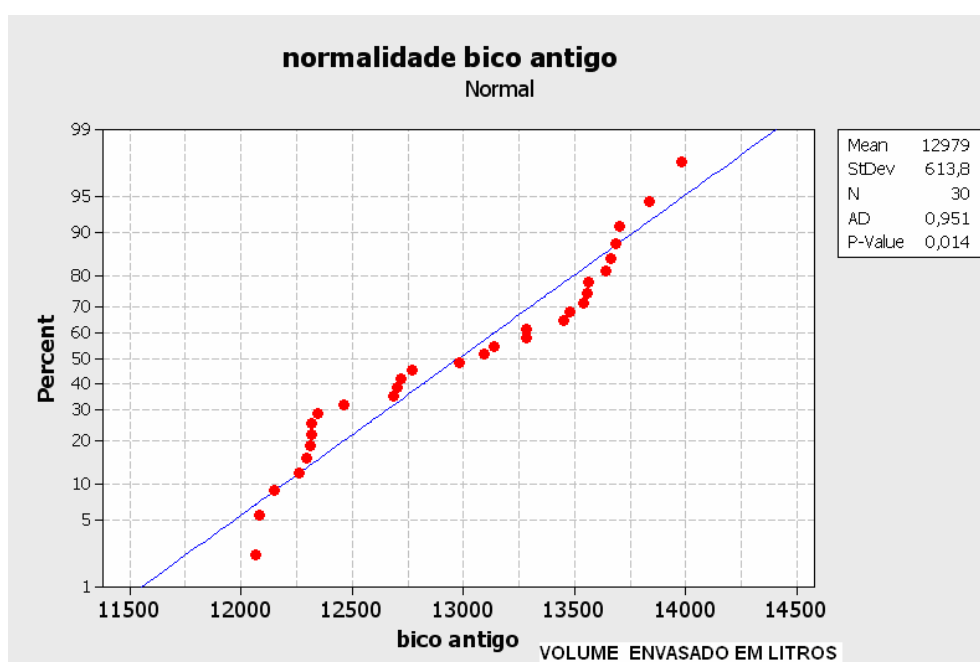


FIGURA 50 – TESTE DE NORMALIDADE DOS DADOS DE ENVASE ANTES DA MELHORIA
FONTE: reprodução gráfica gerada pelo software *Minitab*

Nos dois casos antes e depois, o valor de p-value é menor que 0,05, ou seja, não seguem uma distribuição normal, porém, verifica-se uma breve melhora da normalidade após a melhoria, alterando-se o valor de p-value de 0,014 para 0,020.

Conforme já mencionado anteriormente no item 2.8, o valor de p-value deverá ser maior que 0,05 para os dados sejam considerados normais.

A figura 52 demonstra a diferença entre as médias das duas populações de envase. A primeira antes da alteração, ou seja, com um único bico de envase, e a segunda com os novos bicos de envase, representando a média após a melhoria.

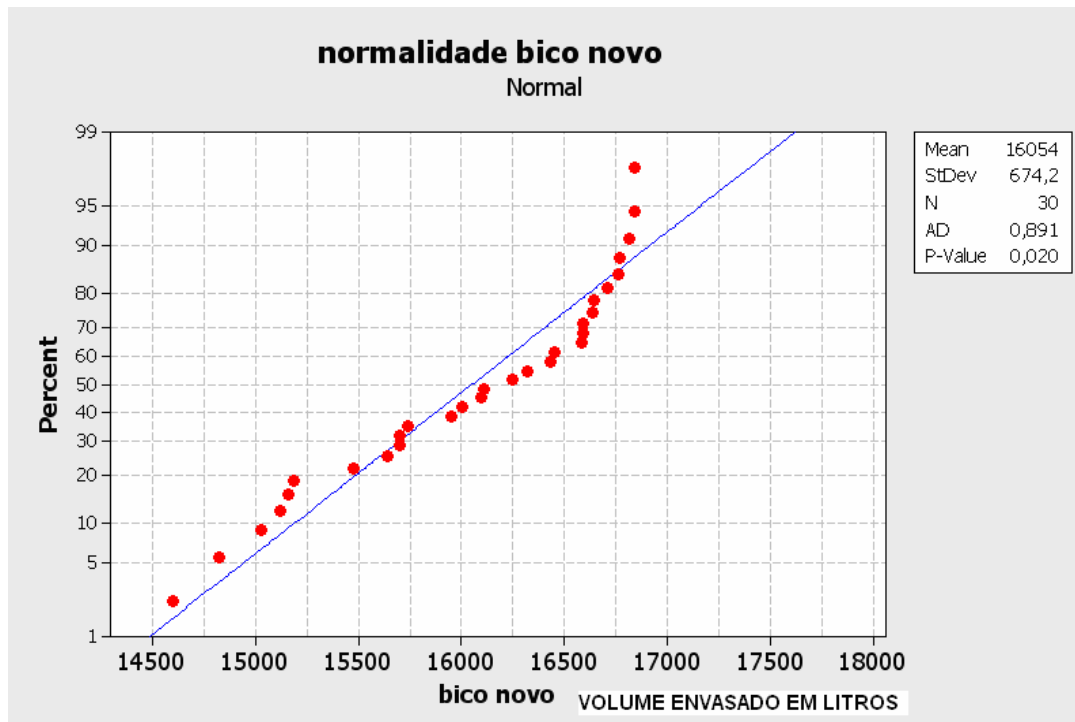


FIGURA 51 – TESTE DE NORMALIDADE DOS DADOS DE ENVASE DEPOIS DA MELHORIA
FONTE: reprodução gráfica gerada pelo software *Minitab*

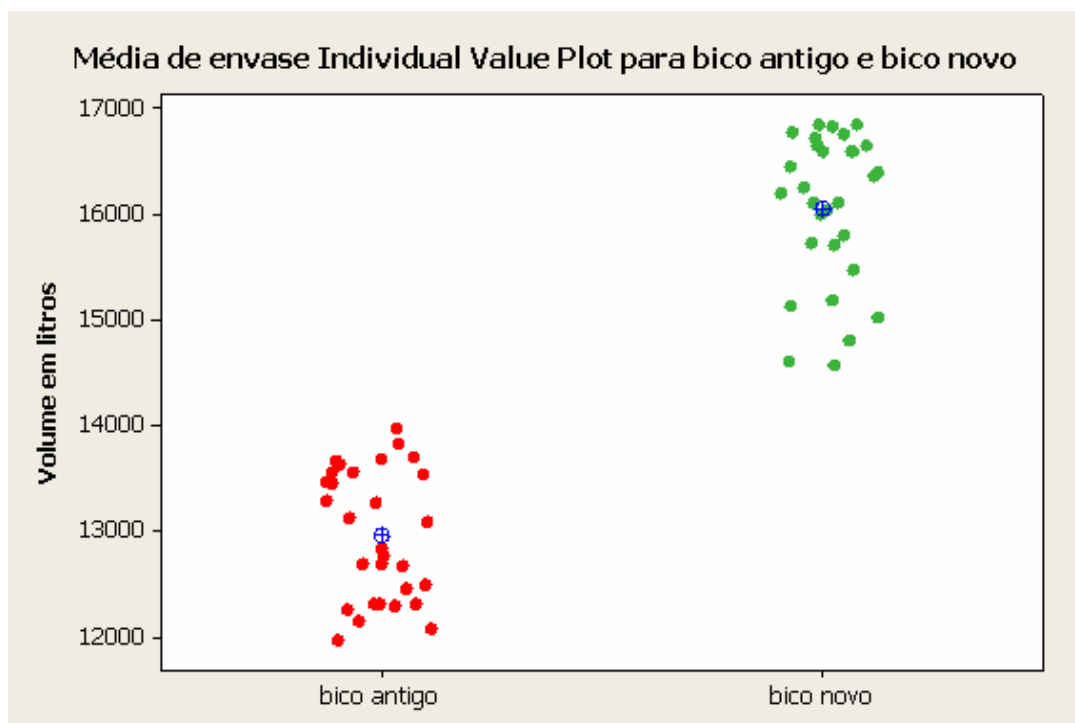


FIGURA 52 – VALUE PLOT PARA MÉDIAS DE ENVASE BICO ANTIGO E NOVO
FONTE: reprodução gráfica gerada pelo software *Minitab*

4.8.2 Contenção da Sujidade na Cuba de Envase

Esta ação teve um tratamento específico e rápido denominado *Quick-Wins* (ganhos rápidos). Nos projetos é comum que na elaboração dos *brainstorm* surjam idéias inovadoras com baixo esforço, baixo risco e baixo custo de implementação.

A ação para resolução do problema entupimento dos bicos de envase resumiu-se na instalação de um filtro contendor de sujeiras na parte interior da cuba de envase, que reserva e alimenta as tintas para os bicos de envase. Este filtro possui a função de reter qualquer tipo de impureza oriunda entre o ponto A e B representados na figura 53, as quais impregnavam o conjunto embolo pistão, impedindo a passagem total da tinta e dificultando o processo de vedação entre um envase e outro, resultando em respingos constantes e conseqüentemente na parada da máquina para limpeza das embalagens e ou maquinário. No processo de desobstrução consumia tempo de envase, que por sua vez influenciava no volume final do envase.

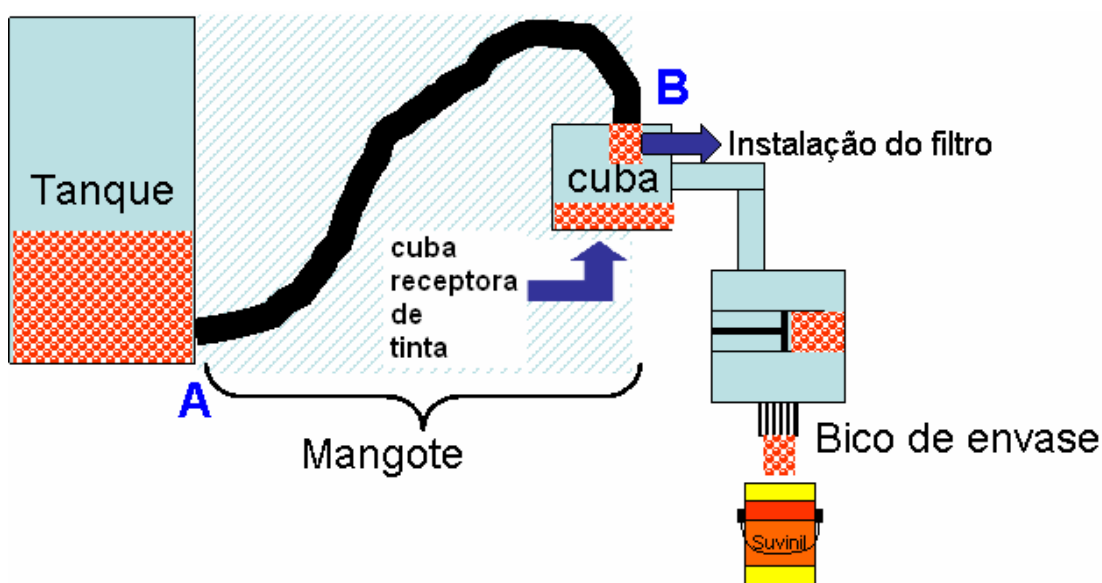


FIGURA 53 – ESQUEMA DE TRANSFERÊNCIA DE TINTA
FONTE: próprio autor

Por meio da figura 54, verifica-se o número de vezes que o bico entupia antes e depois da instalação do filtro (tela de 100 *mesh*¹⁵).

¹⁵ Mesh: na aplicação de tintas, mesh "é uma unidade de medida que representa a distância entre fios de um determinado filtro. Quanto maior o mesh, mais fios por polegada quadrada, conseqüentemente mais restrita é a passagem da tinta pelo filtro."
Fonte: (FAZENDA, 1995)

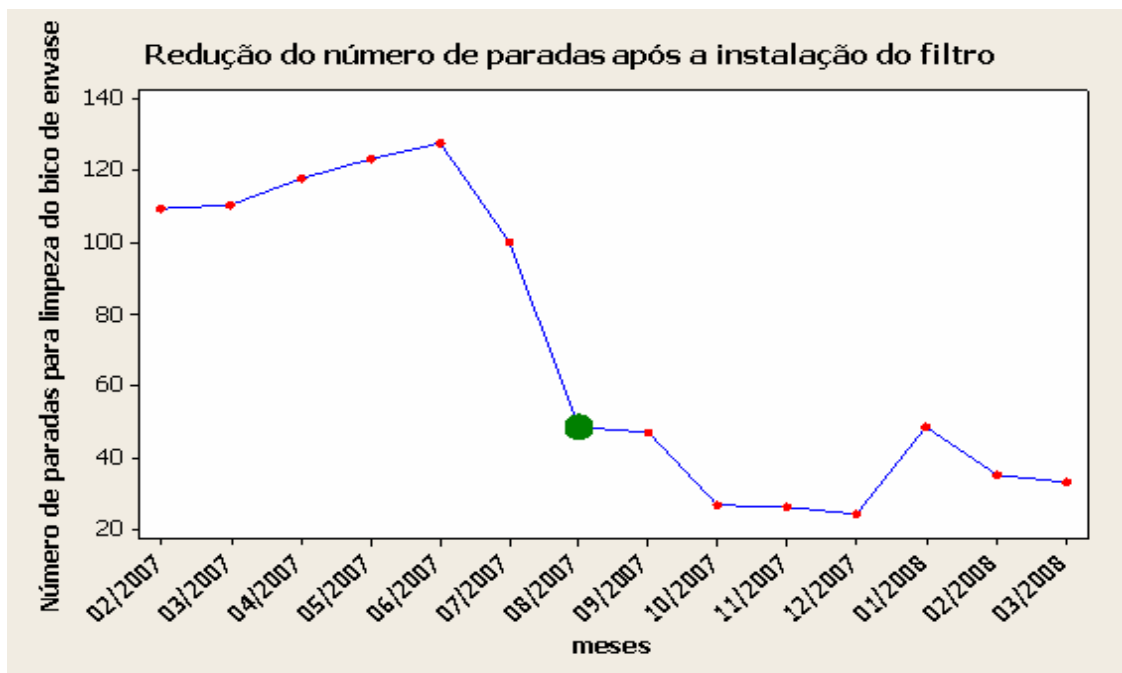


FIGURA 54 – SÉRIE TEMPORAL PARA INSTALAÇÃO DE FILTRO
FONTE: reprodução gráfica gerada pelo software *Minitab*

A melhoria obtida reduzindo significativamente o número de vezes em que o operador necessitava parar sua atividade para a limpeza do bico, ocorreu devido à instalação da tela de filtro antes da alimentação da cuba de envase, impedindo que pequenas partículas de sujeira, oriundas dos sistemas anteriores, influenciassem no processo de envase, diminuindo significativamente de 120 para 40 por mês o número de vezes em que o envase seria interrompido para limpeza dos bicos, evitando o entupimento.

4.8.3 Ajuste do *spray ball* na Lavagem da Cuba

Ao final do término de envase de cada tinta, onde se alterava a qualidade de uma determinada tinta A, para a tinta B, havia a necessidade de lavagem de todos os componentes da máquina com contato com a tinta, a fim de se evitar contaminações.

A cuba receptora de tinta, conforme figura 53, ponto B, apresentava importante deficiência quanto ao tempo de lavagem, pois, o *spray ball*¹⁶ responsável pela limpeza da mesma, demandava tempo incoerente para o processo de limpeza, acarretando atraso entre os envases.

¹⁶ *Spray Ball*: para tintas, *Spray Ball* é um dispositivo de lavagem de tanques, tachos etc, cujo mecanismo de funcionamento se dá por conta da ação da pressão do líquido de lavagem e a parte extrema do equipamento, onde o formato e propriedade giratória conferem eficiência no processo de set-up de lavagem destes.
Fonte: Próprio autor. Linguagem técnica utilizada para referenciar jato circular.

Três hipóteses responderiam a deficiência no *Set-up* de lavagem da cuba:

- pressão do solvente abaixo do necessário;
- *spray ball* desalinhado;
- *spray ball* com dimensão inadequada.

Após vários estudos, por mais que se aumentasse a pressão e alterasse o alinhamento do *spray ball*, o resultado obtido não era o esperado. Resolveu-se então, alterar o dimensional do mesmo, atingindo assim resultados significativos, diminuindo pela metade o tempo demandado para lavagem da mesma.

A análise de regressão verificada por meio da saída do *Minitab Session Window*, figura 55, revela que se alterando a dimensão do *spray ball*, os resultados em relação à diminuição dos tempos de lavagem da cuba foram significativamente menores do que qualquer outro tipo de combinação existente.

O tempo de lavagem da cuba após esta melhoria reduziu-se à metade do tempo original.

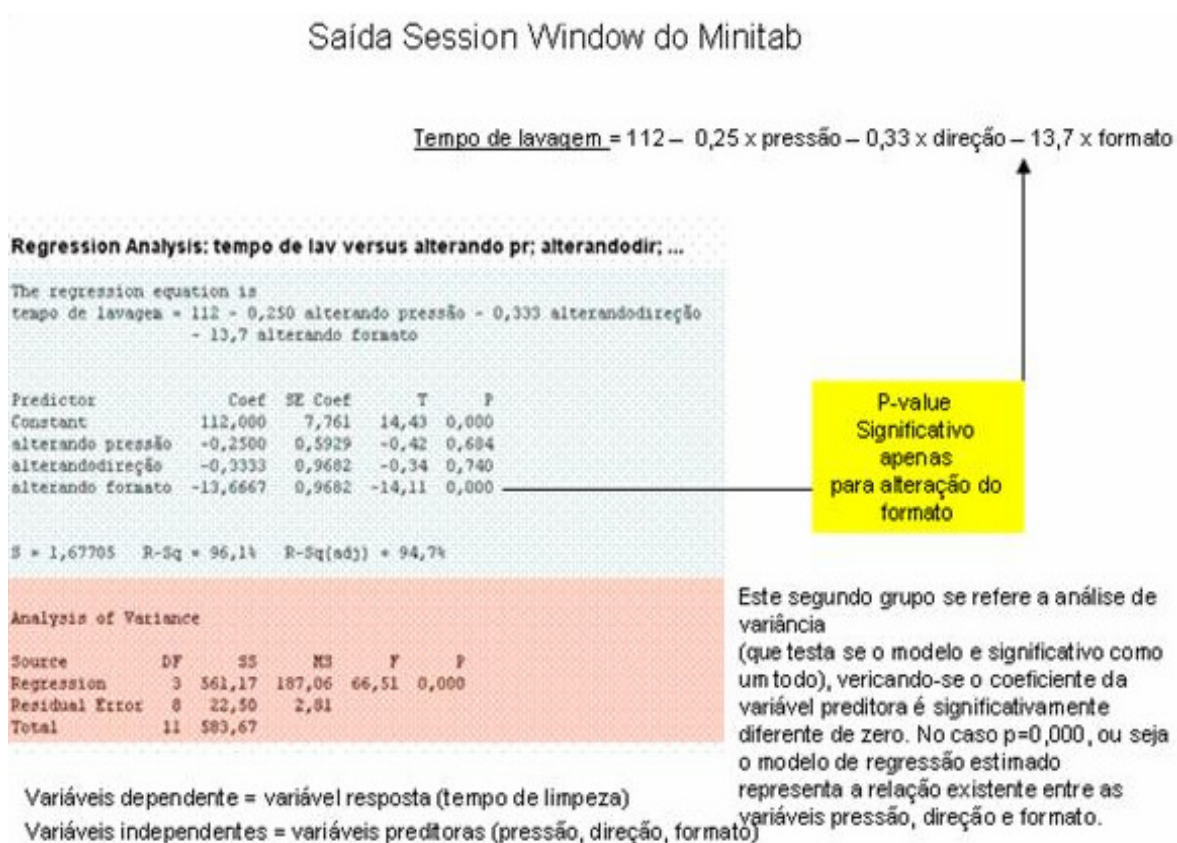


FIGURA 55 – ANÁLISE DE REGRESSÃO PARA DIMINUIÇÃO DO TEMPO DE LAVAGEM DA CUBA
FONTE: reprodução gráfica gerada pelo software *Minitab*

4.8.4 Diminuição do Número de *Set-ups*

A característica da máquina em estudo destaca-se pelo envase de uma grande gama de tintas de coloridas, obrigando assim a realização de inúmeros *set-ups* para limpeza de seus componentes. Fato este não observado para as de tintas de cores brancas cujas propriedades distinguem das coloridas, exigindo menos *Set-ups* devido ao maior volume envasado e menor tempo de para descontaminação dos elementos de máquina, como bicos de envase, cuba receptora de tintas, mangueiras e tubulações.

Com base nesta necessidade realizaram-se estudos de compatibilidade entre os diferentes tons de cores, os quais foram submetidos à análise da programação e planejamento de fábrica. O resultado deste estudo de compatibilidade aliado à maior visualização da programação de envase, de uma para duas semanas, permitindo reduzir o número de *Set-ups* por determinado período envasado.

Este estudo resumiu-se em realizar agrupamentos de cores similares, permitindo o envase seqüencial de tintas de mesma cor ou similares por um período maior, decorrendo assim em um menor número de trocas, representando uma redução de 10% número de *Set-ups* da máquina.

Embora reduzisse o número de *Set-ups* devido ao melhor aproveitamento do envase de tintas de mesma cor, criou-se outro risco, o de não atender a variação de cor que o mercado necessitava durante o período de vendas, acarretando assim em outro problema significativo, embora o volume fosse atendido.

Realizou-se, portanto, outra análise para validação do atendimento da demanda em relação às cores disponíveis para vendas, conforme demonstra a figura 56.

A ação realizada para diminuição do número de *Set-ups*, não gerou impacto negativo no atendimento da demanda de cores, sendo esta confirmada por meio da análise de hipótese abaixo, gerando como resultado, o atendimento da demanda com 95% de assertividade.

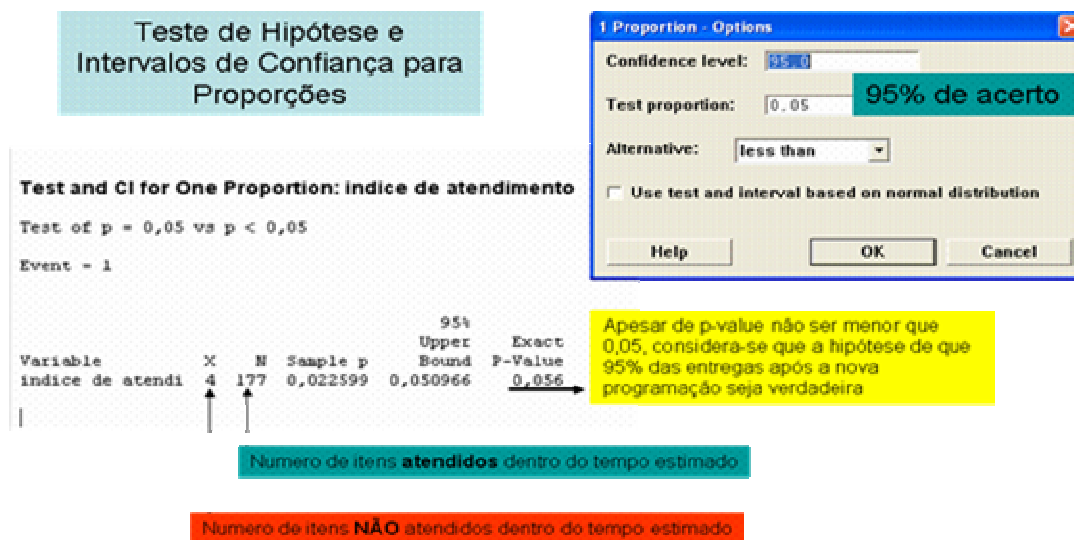


FIGURA 56 – TESTE DE HIPÓTESE REFERENTE AO ATENDIMENTO DAS CORES
 FONTE: reprodução gráfica gerada pelo software *Minitab*

4.8.5 Realização de Treinamento Padronizado

A figura 57 revela-se a diferença de envase entre os operadores antes do projeto, estabelecendo-se assim, uma sistemática de treinamento denominada on-the-job (treinamento na atividade), com o objetivo de minimizar as diferenças ocorridas entre as medianas e a dispersão entre os operadores.

Inicialmente elaborou-se o material para realização do treinamento juntamente com os operadores que obtiveram melhor desempenho (operadores D e F).

Posteriormente, foram elaboradas situações diárias de não-conformidade, e estas aplicadas ao final de cada treinamento com o objetivo de medir a assimilação do treinamento.

Em uma terceira etapa verificou-se a eficácia do treinamento por meio dos resultados. Esta ação causou melhora significativa na média do envase, alavancando-o em quase 10% em relação ao valor inicial. Ajustaram-se as medianas entre os operadores diminuindo as respectivas dispersões.

É possível verificar por meio da figura 58, a análise das dispersões e medianas dos operadores depois dos treinamentos.

Obs.: os operadores B e H não foram avaliados, pois haviam sido transferidos para outras unidades.

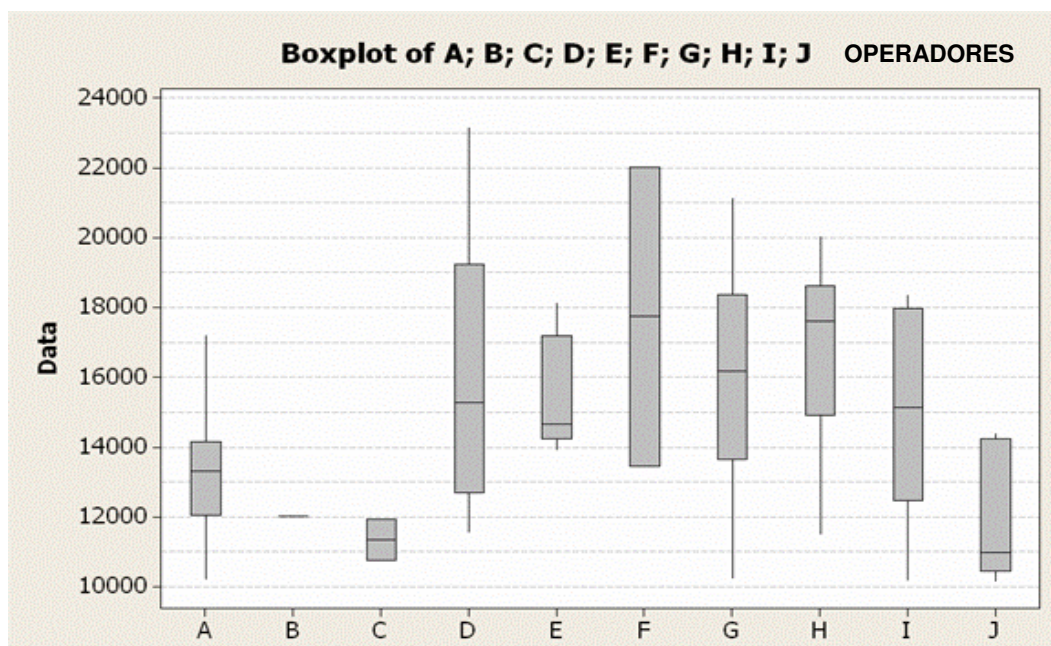


FIGURA 57 – ANÁLISE *BOXPLOT* DOS VOLUMES ENVASADOS ANTES DOS TREINAMENTOS
FONTE: reprodução gráfica gerada pelo software *Minitab*

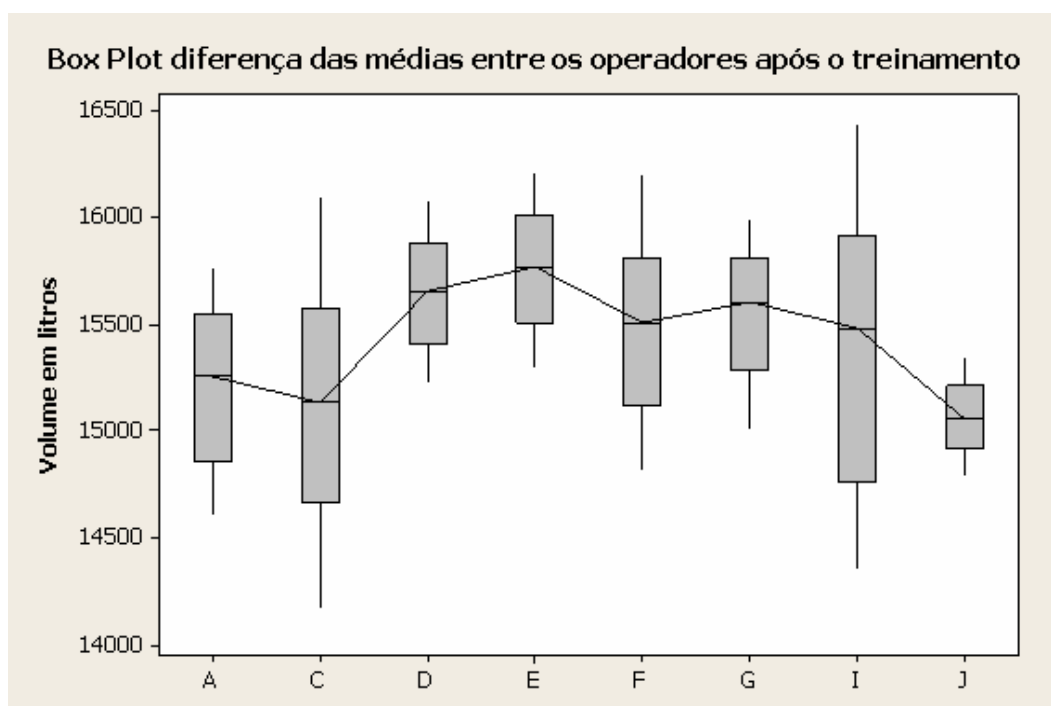


FIGURA 58 – ANÁLISE *BOXPLOT* DOS VOLUMES ENVASADOS DEPOIS DOS TREINAMENTOS
FONTE: reprodução gráfica gerada pelo software *Minitab*

4.9 FASE CONTROLE DAS AÇÕES TOMADAS

Esta fase é sem dúvida a mais simples em termos de implementação, mas não a menos importante. No início do projeto o grau de convencimento da equipe para entender e aceitar o Seis Sigma denotou-se tão trabalhoso quanto o seu próprio desenvolvimento. A falha comum de ocorrer nesta fase é a falta de atenção por parte do líder do projeto em acompanhar os ganhos por meio dos controles estabelecidos, uma vez que já tenha alcançado os objetivos propostos. Daí a necessidade de treinar detalhadamente cada operador envolvido no processo e estabelecer uma sistemática de reciclagem de treinamento de novos colaboradores, a fim de garantir a continuidade do controle e tomadas de ação caso o processo apresente desvios. Abaixo, as principais planilhas adotadas para acompanhamento das ações de melhoria adotadas no processo.

4.9.1 Controle dos Diferentes Bicos de Envase

Para esta melhoria foi elaborada uma planilha com os diferentes tipos de tintas versus tipos de bicos a serem utilizados, conforme pode ser visto na Tabela 28.

TABELA 28 – CONTROLE DE USO DOS BICOS DE ENVASE POR TIPO DE TINTA

Tipos de Tintas	Diâmetro de capilar bico A	Diâmetro de capilar bico B	Diâmetro de capilar bico C
Tinta Óleo		x	
Tinta Brilhante		x	
Tinta Fosca	x		
Tinta Acetinada	x		
Tinta Aluminizada			x

FONTE: próprio autor

Este controle foi necessário para orientar e evidenciar se o bico de envase utilizado estava sendo utilizado de forma adequada, tal como desenvolvido no experimento, onde se determinou os diferentes bicos de envase por tipo de tinta envasada, conforme Item explorado em 4.8.1.

4.9.2 Controle do Tempo de Troca dos Filtros da Cuba

Para esta melhoria foi elaborada uma planilha, conforme tabela 29, para troca sistêmica do filtro da cuba de envase, prevenindo a saturação do mesmo em meio ao processo de envase, retardando assim a produtividade.

TABELA 29 – CONTROLE DA TROCA DOS FILTROS DA CUBA

Troca de filtro	Primeira semana	Segunda semana	Terceira semana	Quarta semana
Turno A	Operador A	Operador B	Operador A	Operador B
Turno B	Operador C	Operador D	Operador C	Operador D
Turno C	Operador E	Operador F	Operador E	Operador F

FONTE: próprio autor

4.9.3 Controle do Tempo de Lavagem da Cuba

Para garantir que o *spray ball* estivesse funcionando corretamente, foi elaborada uma planilha, conforme tabela 30, para controle do tempo de lavagem entre um *Set-up* e outro.

TABELA 30 – CONTROLE DO TEMPO DE LAVAGEM DA CUBA

Controle do tempo de lavagem da Cuba						
Primeiro turno	Início	Término	Início	Término	Início	Término
Segundo turno	Tempo Total		Tempo Total		Tempo Total	
	Início	Término	Início	Término	Início	Término
Terceiro turno	Tempo Total		Tempo Total		Tempo Total	
	Início	Término	Início	Término	Início	Término
Tempo Total		Tempo Total		Tempo Total		

FONTE: próprio autor

4.9.4 Controle do Número de *Set-ups* Realizados

Para esta atividade foi elaborada uma planilha de controle do número de *Set-ups* realizados por turno/dia, conforme planilha representada pela tabela 31, atividade realizada pelo operador de envase da máquina.

TABELA 31 – CONTROLE DO NÚMERO DE *SET-UPS* REALIZADOS POR TURNO/DIA

Número de <i>Set-ups</i> efetuados por turno																												
Turno	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3
1º	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8
2º																												
3º																												
Obs.																												

FONTE: próprio autor

4.9.5 Controle do Treinamento *On-the-job*

O treinamento padronizado para operação da máquina de envase Devree II ocorreu em duas etapas:

A primeira referiu-se à importância do Seis Sigma para o sucesso do projeto, envolvendo as fases DMAIC e suas respectivas importâncias.

A segunda referiu-se às operações de envase, desde a preparação até a expedição, com a objetividade de minimizar as diferenças de volume entre os operadores.

Na primeira etapa, foram treinados todos os colaboradores envolvidos com o projeto, ou seja, os próprios colaboradores do *Team Members* e toda a equipe da fábrica, aproximadamente 50 colaboradores.

Na segunda etapa, foram treinados os operadores de todos os turnos referentes à operação da máquina Devree II, ou seja, 30 colaboradores.

TABELA 32 – PLANO DE TREINAMENTO PARA OPERAÇÃO DA DEVREE II

On-the-job		Operador	1ª semana	2ª semana	3ª semana	eficácia
Máquina de Envase Devree II	1º turno	a	X			
		b	X			
		c	X			
		d	X			
		e	X			
	2º turno	a1		X		
		b1		X		
		c1		X		
		d1		X		
		e1		X		
	3º turno	a2			X	
		b2			X	
		c2			X	
		d2			X	
		e2			x	

FONTE: próprio autor

5. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Apresentam-se neste capítulo os resultados obtidos em função do objetivo proposto, os quais somente puderam ser alcançados com comprometimento da liderança e diálogo aberto com os colaboradores.

A utilização da metodologia Seis Sigma promoveu resultados satisfatórios, atendendo os objetivos conforme definido no item 1.1.

As fases do DMAIC foram seguidas corretamente com o comprometimento do *Team Members*, com baixo custo de implementação, utilização de recursos próprios e sem impacto negativo para a segurança das operações, conforme definido no item 1.3.

O desenvolvimento do experimento por meio da metodologia Seis Sigma demonstrou a viabilidade de sua utilização para a resolução do problema estudado, promovendo o aumento da produtividade no envase e melhorias significativas não mensuráveis.

Deve-se salientar que, tão importante quanto à utilização das ferramentas estatísticas para identificação e definição das ações de melhoria, seguir sistematicamente a lógica das fases DMAIC, foi determinante para o alcance dos resultados obtidos.

Os dados de envase, por serem considerados não normais, limitaram a análise estatística em relação à usabilidade de algumas ferramentas da qualidade, mas isto não impossibilitou o desenvolvimento do experimento por meio das fases DMAIC.

Os resultados obtidos são demonstrados por meio da tabela 33 onde se compara os valores das métricas do experimento antes e depois das melhorias e seus respectivos impactos na produtividade. O detalhamento de cada melhoria foi destacado no item 4.8, por meio das ações:

- redimensionamento dos bicos de envase;
- contenção da sujidade na cuba de envase;
- ajuste do *spray ball* na lavagem da cuba;
- diminuição do número de *set-ups*;
- realização de treinamento padronizado.

TABELA 33 – MÉTRICAS DO EXPERIMENTO ANTES E DEPOIS DAS MELHORIAS

MELHORIAS	ANTES	DEPOIS	Contribuição estimada das ações para o aumento da produtividade
Desenvolvimento de novos bicos de envase adequando os diferentes tipos de tintas x bicos devidamente dimensionados	único bico	3 bicos	35%
Aplicação de telas de contenção de sujidades na cuba de armazenamento de tintas reduzindo o número de paradas para limpeza do equipamento	120 trocas	40 trocas	20%
Redimensionamento do <i>spray ball</i> reduzindo o tempo de lavagem da cuba pela metade.	x	x/2	30%
Redução do número de <i>Set-ups</i> em função do ajuste do planejamento e programação do envase	x	x – 10%	10%
Realização de treinamento padronizado para toda equipe (30 colaboradores) envolvida na aplicação da metodologia Seis Sigma	20%	100%	5%
Monitoramento online das variáveis de processo facilitando a tomada de decisão em tempo hábil para tomada de ação	0%	100%	valor não significativo
Utilização de recursos próprios evitando custos adicionais de implementação	x	x	não aplicável
Benefícios econômicos em função das melhorias (aumento da produtividade).	x R\$	5% adicional	não aplicável
Somatória das melhorias	333 l/h/h	400 l/h/h	100%

FONTE: próprio autor

Os resultados obtidos foram:

- desenvolvimento de novos bicos de envase por tipo de tinta, passando de apenas um bico para três modelos diferentes;
- redução do número de paradas para troca das telas de contenção de 120 para 40 trocas no mês;
- ajuste do *spray ball* de lavagem da cuba contentora de tinta, diminuindo pela metade o tempo de lavagem da mesma, aumentando o tempo de disponibilidade da máquina para o envase;
- redução do número de *Set-ups* em 10%, em função da adequação das cores para o envase. Ação conjunta com o planejamento;

- capacitação de pessoas na metodologia Seis Sigma, saltando de 20% para 100% da população da fábrica, envolvendo 30 colaboradores;
- monitoramento on-line dos volumes envasados em função do desenvolvimento do banco de dados para gerenciamento das informações;
- redução da dispersão dos volumes envasados por turno de trabalho entre os operadores, de 4.052 litros para 3.263 litros;
- aumento do benefício econômico em 5% em função do aumento da produtividade, resultado da implementação das melhorias determinadas por meio da metodologia Seis Sigma.

Em detrimento das melhorias aplicadas alcançou-se o acréscimo da taxa da produtividade em 1,20 representando um aumento de 333 l/h/h para 400 l/h/h, aproximadamente 16.000 litros por turno.

Os objetivos propostos foram alcançados com um pequeno desvio em relação aos prazos pré-determinados, conforme pode ser verificado na tabela 20, estendendo-se por dois meses além do previsto, fato este, resultante pela contribuição das dificuldades encontradas no experimento, citadas no item 6.6.

A figura 59 demonstra a evolução do DMAIC ao longo do tempo e a respectiva proporção em meses utilizada para cada uma das fases:

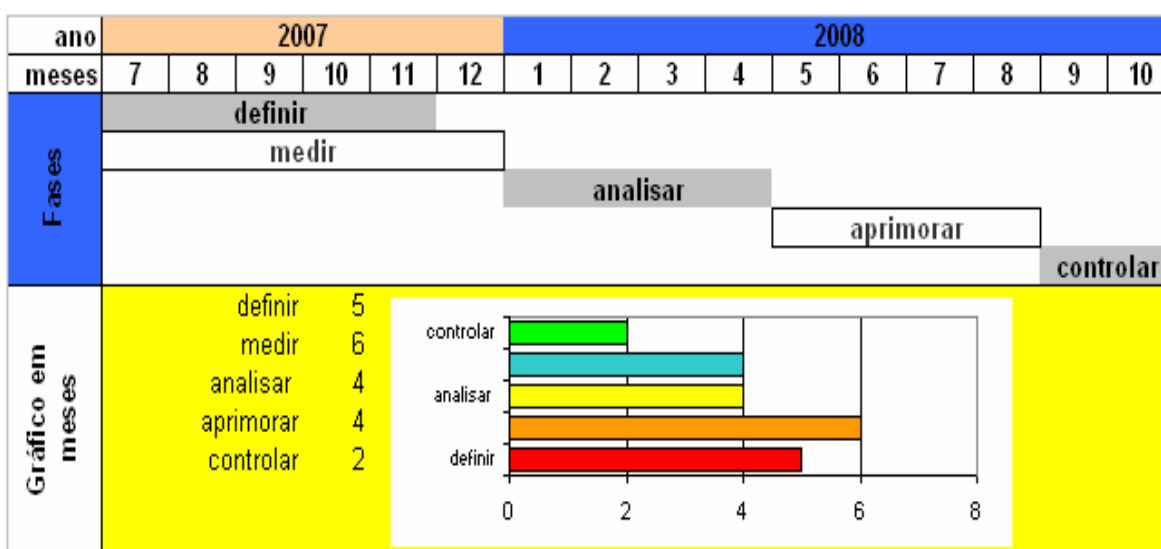


FIGURA 59 – CRONOGRAMA DE FECHAMENTO DO PROJETO
 FONTE: próprio autor

5.1 APRESENTAÇÃO DA PRODUTIVIDADE ALCANÇADA

Para efeito de cálculo da produtividade, tanto a variável número de pessoas como a disponibilidade do tempo para o envase permaneceram inalterados, não sendo aplicado na íntegra, o conceito sobre produtividade explorado no item 2.9.

Os motivos que levaram o número de pessoas e disponibilidade do tempo permanecer inalterados foram:

- a quantidade de horas disponíveis para o envase não foi alterada pois consumiria recurso adicional de outros processos, implicando assim em outras melhorias;
- o número de colaboradores também permaneceu inalterado pois conforme demonstrado no esquema de envase, figura 39, necessita-se minimamente de cinco pessoas para a operação da máquina, não sendo possível somente com o aumento da produtividade adicional, em 20%, justificar qualquer tipo de redução deste recurso ao longo do período planejado para o envase.

Verifica-se por meio da equação 14 a definição do modelo de cálculo para a determinação da produtividade alcançada.

$$P = l/h/h \text{ (produtividade = litros envasados/horas disponíveis/homem)} \quad (14)$$

Sendo:

Produtividade anterior= P1.

Produtividade atingida= P2.

Portanto:

P1= 333 l/h/h (litros/hora/homem)

P2= 400 l/h/h (litros/hora/homem)

Os valores h/h (hora/homem) permaneceram inalterados e o resultado do aumento da produtividade deu-se em função das melhorias aplicadas, decorrentes da utilização da metodologia Seis Sigma.

5.2 COMPROVAÇÃO ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS

5.2.1 Análise de Série Temporal Referente à Melhoria do Envase

Por meio do gráfico de série temporal, figura 60, pode se verificar a evolução da produtividade ao longo do tempo.

A reta diagonal demonstra o estabelecimento do ganho produtivo linearmente, embora os mesmos tenham sido compostos na medida em que o experimento evoluía (conforme tabela 33), aumentando de 333 para 400 l/h/h, comprovando a variação positiva da mesma a uma taxa de 1,20.

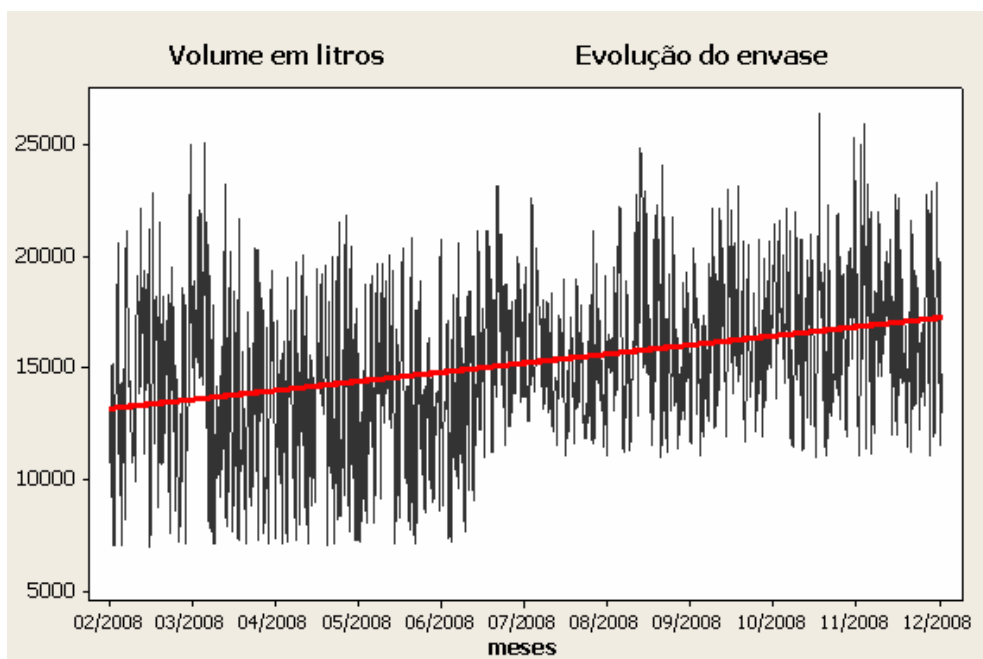


FIGURA 60 – ANÁLISE SÉRIE TEMPORAL REFERENTE À MELHORIA DO ENVASE
FONTE: reprodução gráfica gerada pelo software *Minitab*

5.2.2 Teste de Hipótese para Variância Antes e Depois das Melhorias

O teste de hipótese, conforme observado na figura 61 testa as variâncias entre as populações antes e depois das melhorias em relação a serem consideradas iguais ou não, com base nos dados amostrais.

O teste *F-test* somente será válido para dados normais, não sendo aplicado para os dados apresentados neste experimento, neste caso, utilizou-se o *Levene's Test*, válido para qualquer distribuição contínua que os dados possam assumir.

No experimento o valor de *p-value* é coincidentemente igual a 0,000 nos dois testes, ou seja, menor ou igual a 0,05, rejeitando assim a hipótese nula H_0 , podendo-se afirmar que entre as duas populações há diferença significativa entre as respectivas variações e dispersões.

Percebe-se que após as melhorias, a dispersão é visivelmente menor, isto prova que, além da melhoria da média do envase, verificado no gráfico *Boxplot*, também houve melhoria na dispersão dos resultados após a aplicação do Seis Sigma.

Verifica-se o teste de hipótese para variância antes e depois das melhorias conforme ilustrado na figura 61.

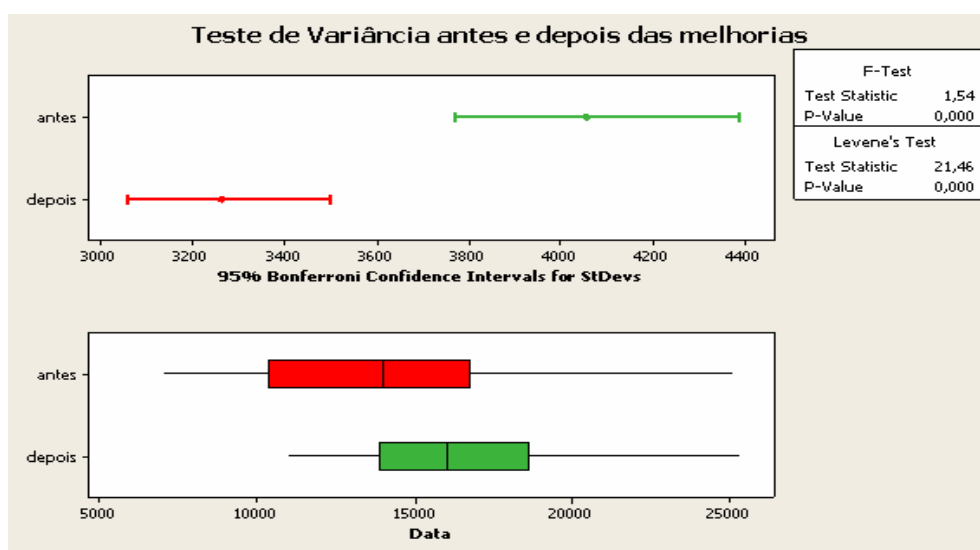


FIGURA 61 – HIPÓTESE PARA VARIÂNCIA DOS DADOS AMOSTRAIS ANTES E DEPOIS DAS MELHORIAS
FONTE: reprodução gráfica gerada pelo software *Minitab*

5.2.3 *Boxplot* Referente à Melhoria Alcançada no Processo de Envase

O teste *Boxplot* verificado na figura 62 representa a dispersão entre as duas populações e a localização na mediana e da média de cada uma delas. Percebe-se que o segundo *Boxplot*

representa o conjunto de dados após a melhoria e representa a melhoria em relação aos dados anteriores, tanto na média, mediana e dispersão dos dados.

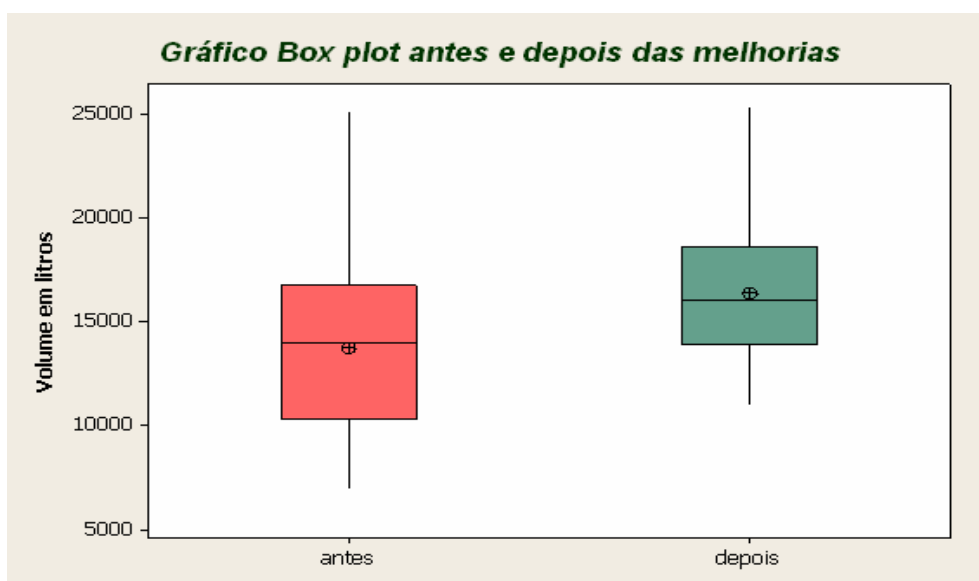


FIGURA 62 – *BOXPLOT* DA PRODUTIVIDADE ALCANÇADA ANTES E DEPOIS DAS MELHORIAS
FONTE: reprodução gráfica gerada pelo software *Minitab*

6. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 INTRODUÇÃO

O experimento estudado por meio da metodologia Seis Sigma e suas respectivas fases DMAIC apresentaram resultados significativos para a organização, os quais serão apresentados e comentados a seguir.

6.2 AVALIAÇÃO DO PROBLEMA ESTUDADO

O processo de envase de tintas decorativas a base de solvente realizada na máquina de envase Devree II, engloba importante interface entre homem e máquina, fato este que potencializa a queda do desempenho no envase por conta do número de operações existentes na realização do envase nas embalagens metálicas de 0,9 e 3,6 litros. As deficiências existentes tanto nas etapas de *Set-ups* como nas partes constituintes da máquina de envase, também se desdobram na queda da produtividade.

Como resultante da somatória de tais deficiências, tem-se a baixa produtividade no envase, decorrendo-se no estabelecimento de ações de melhoria para correção das falhas apontadas. Considerou-se a utilização da metodologia Seis Sigma para resolução do problema explorado, a qual deve comprovar duas suposições por meio das hipóteses mencionadas no item 6.3.

6.3 AVALIAÇÃO DAS HIPÓTESES BÁSICAS

6.3.1 Primeira Hipótese

A primeira hipótese supõe a efetividade da metodologia Seis Sigma em prover incremento na produtividade do envase de tintas decorativas à base de solventes na fábrica 1.

A primeira hipótese foi validada pelo aumento da produtividade do processo de envase de tintas decorativas a base de solvente da fábrica 1, apresentando um aumento de 333 l/h/h para 400 l/h/h, com uma taxa de variação positiva de 1,20 tal qual o objetivo proposto no início do trabalho.

Os seguintes aspectos foram importantes para permitir que a produtividade aumentasse em função da aplicação da metodologia Seis Sigma no processo de envase:

- as fases DMAIC foram corretamente seguidas de forma a prover os resultados esperados;
- o *Team Members* foi devidamente capacitado para desenvolvimento do projeto;
- o escopo para a aplicação da metodologia Seis Sigma foi devidamente definido;
- os integrantes do *Team Members* foram estrategicamente escolhidos;
- os dados de envase foram coletados de forma confiável promovendo base para ações eficazes de melhoria.

6.3.2 Segunda Hipótese

A segunda hipótese supõe que a metodologia Seis Sigma aplicada no experimento em um projeto piloto seria capaz de gerar interesse em aplicá-la em outros processos, ou seja, se teria aceitabilidade da população envolvida como ferramenta eficaz para resolução de problemas, obtendo assim sustentabilidade da metodologia dentro da cultura da empresa.

A segunda hipótese foi validada pela aplicação da Metodologia Seis Sigma para melhoria do desempenho de outros processos como o de Planejamento de Materiais, Desenvolvimento, Controle de Qualidade e Expedição, fato este, decorrente dos positivos resultados obtidos no experimento de envase.

Alguns aspectos foram importantes para incorporar a metodologia Seis Sigma na cultura organizacional como forma de resolução de problemas. Tais fatores foram observados tanto no experimento do processo de envase quanto nos projetos desenvolvidos posteriormente nos processos citados acima, são eles:

- facilidade de interpretação da metodologia pela organização;

- resultados rápidos na medida em que as fases DMAIC evoluía;
- comprometimento da Liderança;
- participação ativa da equipe de fábrica no processo de tomada de decisão, estando presente em todas as reuniões;
- obtenção de resultados positivos sem a necessidade de grandes investimentos.

6.4 CONCLUSÃO

Com base nos resultados evidenciados neste trabalho verificou-se que a questão básica (apresentada no item 1.2) foi respondida positivamente em suas duas considerações.

Com relação à produtividade, obteve-se um aumento de 20% decorrente das melhorias obtidas nas diversas fases do processo de envase, melhorias estas proporcionadas pela aplicação do DMAIC, de ferramentas da qualidade e demais componentes da metodologia Seis Sigma.

Quanto à incorporação da metodologia Seis Sigma à cultura tecnológica da empresa em seus diferentes níveis verificou-se sua consolidação pela aplicação em diversos processos e de forma continuada, passando a ser o método usual para a análise de problemas, determinação e implantação de ações corretivas. Os bons resultados obtidos, tanto no projeto piloto na área de envase quanto nos demais processos consolidaram a aplicação da metodologia Seis Sigma.

Ao apresentar as respostas positivas à pergunta básica, este trabalho expôs uma aplicação bem sucedida da metodologia Seis Sigma em uma área significativamente diferente daquelas usualmente exploradas pela literatura especializada, demonstrando a robustez da referida metodologia. Esta robustez também foi constatada na aplicação com sucesso da mesma em diferentes processos dentro da organização estudada.

O experimento serviu como um incentivador para outros projetos que paralelamente trouxeram benefícios positivos na gestão de pessoas e processos, apresentando resultados significativos para a empresa, tal qual a aplicação da metodologia Seis Sigma para o processo de envase, são eles:

- identificar processos-chave para o cliente interno e externo;
- mapear o fluxo do processo facilitando a identificação das causas de variações existentes;
- utilizar ferramentas de controle para coleta de dados e geração estatística a partir destes;
- capacitar o *Team Members* na elaboração de apresentações para o público interno e externo, resultando no estreitamento da comunicação;
- integrar o *Team Members* com outros processos, facilitando o entendimento das respectivas necessidades dos processos envolvidos;
- descobrir novos talentos para a aplicação da metodologia Seis Sigma para resolução de problemas;
- quebra de paradigma com a realização do teste de cor pelos próprios operadores da máquina, uma vez que estes somente eram realizados pelos técnicos de laboratório;
- estreitar a relação entre a equipe de fábrica e manutenção em relação à necessidade do pronto atendimento quando das quebras de máquinas.

A metodologia Seis Sigma não se resume em estatística pura, mas sim numa educação continuada para o processo de organização de idéias, trabalho em equipe, exploração e análise de dados com um único objetivo: a melhoria contínua dos processos por meio da redução progressiva de suas variações.

Os ganhos intangíveis obtidos após a implementação do Seis Sigma vão além dos respectivos retornos financeiros que a metodologia proporciona. O processo de comunicação e entendimento dos objetivos de forma coletiva impacta positivamente nos processos de interface, gerando atitudes e resultados de forma sustentável.

As ferramentas estatísticas utilizadas no experimento para a determinação das melhorias alcançadas foram consideradas de média relevância, sendo estas fortemente influenciadas pela competência e atitude do *Team Members* e sua respectiva análises sobre o problema.

Conclui-se em função das ações de melhoria realizadas para este experimento, que por meio de técnicas estatísticas básicas e um bom conhecimento de causa-efeito, atingir-se-ia os mesmos resultados tangíveis que a metodologia Seis Sigma proporcionou, porém, talvez sem sustentabilidade requerida, função esta, potencialmente minimizada quando trata-se um problema de forma estruturada e disciplinada, como por exemplo, com a utilização da metodologia Seis Sigma e respectivas fases DMAIC.

6.5 SUGESTÕES PARA CONTINUIDADE DA PESQUISA

O Seis Sigma é uma metodologia que foca a melhoria dos processos com ganhos significativos onde o principal resultado é decorrente do engajamento de pessoas comprometidas.

Como dito anteriormente o Seis Sigma não teria força alguma sem o apoio da liderança, tão pouco sem o comprometimento dos colaboradores envolvidos na execução e implementação de cada fase da metodologia.

A metodologia Seis Sigma é rica em termos de disponibilidade de ferramentas estatísticas, porém, no experimento estudado moderadamente utilizou-se de tais ferramentas devido a característica do experimento estudado. É possível que estas sejam exploradas com maior intensidade por meio das continuidades do experimento sugeridos.

Como continuidade deste trabalho, onde a metodologia Seis Sigma foi explorada para promover o incremento da produtividade e sua utilização cotidiana para resolução de problemas, destacam-se as seguintes sugestões de por meio das questões:

- qual a aplicabilidade do Seis Sigma em um processo de envase onde o produto envasado não seja tinta?
- é possível diminuir significativamente o desvio padrão do envase?
- qual a influência que tornam os dados não normais? É possível por meio do Seis Sigma torná-los normais?
- é possível aumentar a eficiência do envase conciliando recursos de outros processos no horário de refeição?
- é possível aplicar a metodologia *Lean Seis Sigma* nos processos semelhantes?
- é possível aplicar as melhorias estabelecidas neste trabalho em sistemas de tecnologia diferentes, como tintas à base de água, vernizes etc?
- é possível por meio da análise de Delineamento de Experimentos, obter uma equação reduzida para incremento da produtividade, levando em consideração as ações físico-químicos da tinta, como temperatura, viscosidade, pressão de envase, dimensional de ferramental e propriedades nanométricas?

6.6 RESTRIÇÕES E LIMITAÇÕES DO PROJETO

As restrições e limitações identificadas no desenvolvimento deste experimento ocorreram em parte no início do projeto, e outras detectadas na medida em que o trabalho evoluía, tornando assim, o processo de implementação gradualmente dificultoso, fato este se torna mais comum quando se aplica a metodologia pela primeira vez. As principais restrições e limitações encontradas são descritas a seguir, e não necessariamente obedecem a uma ordem cronológica, pois se pode evidenciar um mesmo tipo de limitação ao longo da pesquisa de experimento.

As seguintes limitações foram identificadas durante o projeto:

- a coleta de dados foi estabelecida de modo não eficiente, pois se utilizava planilhas manuais para coleta de dados, interferindo significativamente na agilidade da informação e na qualidade dos mesmos;
- processo de comunicação entre os turnos de trabalho, com diferentes leituras sobre a interpretação da metodologia gerando frentes de trabalho com energias e atuações diferentes;
- o modelo adotado pela BASF para desenvolvimento dos projetos levava em consideração que o *Team Members* incorporasse as atividades e ações que a metodologia demandava adicionalmente as atividades rotineiras;
- os dados coletados foram considerados não normais na análise estatística, limitando assim, a aplicação de algumas ferramentas de qualidade para o desenvolvimento da análise e definição das melhorias para o problema explorado;
- a questão cultural relativa à aceitação da metodologia Seis Sigma;
- limitações de verba para aquisição de qualquer tipo de equipamento que pudesse resolver o problema de produtividade;
- limitação do número de pessoas e tempo disponível para o envase referente ao cálculo da produtividade.

Lidar com as diferenças culturais levando em consideração o pensamento individual é determinante para o sucesso da implementação da metodologia Seis Sigma. Construir objetivos e metas conjuntas, entre os vários níveis da organização, desde os operacionais até gerenciais determinam o sucesso de um projeto como este.

REFERÊNCIAS

- ANÁLISE do sistema de medição. Disponível em:
<<http://www.banasmetrologia.com.br/imprime.asp?codigo=923>>. Acesso em: 23 de nov. 2008.
- BASF. Disponível em: <<http://www.basf.com.br>>. Acesso em: 11 fev. 2009.
- BERDEBES, G. **Introduction to six Sigma**: for internal service departments and professional services organizations. Quebec: Working Paper, 2003.
- BREYFOGLE, F. W. **Implementing Six Sigma**. New York: Jonh Wiley & Sons, 1999.
- BRUSSE, W. **Statistics for Six Sigma Made Easy!** New York: McGraw-Hill, 2004.
- BRYMAN, A. **Research methods and organization studies**. London: Routledge, 1995.
- CÁLCULO do nível sigma. Disponível em: <<http://www.siqueiracampos.com>>. Acesso em: 13 maio 2009.
- CAMPOS, M. S. **Seis Sigma gerencial**. Porto Alegre: Siqueira Campos, 2005. Apostila.
- _____. **Desvendando o Minitab**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2003. 261p.
- _____. **Formação de Green Belts**. Porto Alegre: Siqueira Campos, 2005.
- _____. **Formação de Black Belts**. Porto Alegre: Siqueira Campos, 2007.
- CAPACIDADE do processo. Disponível em: <http://elsmar.com/Cp_vs_Cpk.html> Acesso em: 15 nov. 2008.
- COLENGHI, V. M. **O & M e qualidade total**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2003.
- CORONADO, R. B.; ANTONY, J. Critical success factors for the successful implementation of six Sigma projects in organizations. **The TQM Magazine**, v. 14, n. 2, 2002. p. 92-99.
- CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. **Administração de produção e operações**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2006.
- D'ANGELO, F. de. **Padrões normativos para sistemas da qualidade**. In: AMATO NETO, J. Manufatura classe mundial. São Paulo: Atlas, 2001. p.177-204.
- DEFINIÇÃO da força da pesquisa experimental. Disponível em: <<http://www.age-of-the-sage.org/psychology/>>. Acesso em: 24 set. 2008.
- DEFINIÇÃO do Seis Sigma. Disponível em:
<<http://www.pro.poli.usp.br/search?SearchableText=seis+Sigma>>. Acesso em: 27 set. 2008.
- DEMING, E. W. **Qualidade**: a revolução da administração. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1997.
- DICIONÁRIO da Qualidade. Disponível em: <<http://www.indg.com.br>>. Acesso em: 13 maio 2008.

DISTRIBUIÇÃO normal. Disponível em: <http://www.inf.ufpr.br/bcr04/est/estII_VI.doc>. Acesso em: 16 nov. 2008.

DMAIC. Disponível em: <<http://www.estatcamp.com.br/nova/index.php?secao=500&id=501>>. Acesso em: 12 out. 2007.

ECKES, G. **A Revolução Seis Sigma**: o método que levou a GE e outras empresas a transformar processos em lucro. São Paulo: Campus, 2001. 272 p.

EVOLUÇÃO do preço do leite. Disponível em: <http://bessegato.sites.uol.com.br/UNA/02_univariada.pdf>. Acesso em: 22 set. 2008.

FAZENDA, M. R. (Org.). **Tintas e vernizes**: ciência e tecnologia. São Paulo: Abrafati, 1995. 88 p.

FUCKS, A. S. V. de. **Aplicação da simulação como ferramenta de Seis Sigma**. São Caetano do Sul, SP: CEUN-EEM, 2004.

GEORGE, L. M. Lean Six Sigma. **Combining Six Sigma quality with lean speed**. U.S.A: McGraw-Hill, 2002.

HARRY, M. Abatement of business risk is key to Six Sigma. **Quality Progress**, v. 33, n. 7, p. 72-76, jul. 2000.

HARRY, M.; SCHROEDER, R. **Six Sigma**: the breakthrough management strategy revolutionizing the world's top corporations. New York: Currency, 2000.

HISTÓRIA da BASF. Disponível em: <<http://www.basf.com/corporate/aboutbasfhistory.html>>. Acesso em: 12 maio 2008.

HISTÓRIA Suvinil. Disponível em: <<http://www.suvinil.com.br/>>. Acesso em: 04 out. 2008.

HORWOOD, E. **Paint and Surface Coatings**. New York: John Wiley & Sons, 1987.

HUTCHINS, G. **ISO 9000**: um guia completo para o registro, as diretrizes da auditoria e a certificação bem-sucedida. São Paulo: Makron Books, 1994.

INSTITUTO DA QUALIDADE AUTOMOTIVA. **Análise de modo e efeitos de falha potencial FMEA**: manual de referência. 3. ed. São Paulo, SP: IQA, 2001. 86 p.

ISHIKAWA, K. **Introduction to quality control**. Tóquio: Asian Productivity Organization, 1989.

_____. **Controle de qualidade total**: à maneira japonesa. Rio de Janeiro: Campus, 1993. 221 p.

JURAN, J. M. **Juran on planning for quality**. New York: The Free Press, 1988.

_____. **Quality handbook**. McGraw-Hill. 2000.

MARSHALL, I. J. et al. **Gestão da qualidade**. 3. ed. Rio de Janeiro: FGV, 2004. 164 p.

MATTIELO, J. J. **Protective and decorative coating**. New York: John Wiley & Sons, 1946. v. 1.

OHNO, T. **Sistema Toyota de produção**: além da produção em larga escala. Porto Alegre: Bookman, 1997.

PALADINI, E. P. **Controle de qualidade**: uma abordagem abrangente. São Paulo: Atlas, 1990.

PANDE, P. S.; NEUMAN, R. P.; CAVANAGH, R. R. **Estratégia Seis Sigma**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001. 472 p.

_____. **The Six Sigma way**: how GE, Motorola, and other top companies are honing their performance. New York: McGraw-Hill, 2000. 422 p.

_____. **Requisitos do sistema da qualidade QS 9000**. 3. ed. São Paulo, 1998.

REPETIBILIDADE. Disponível em: <<http://www.calibracao.com.br/artigos/24/24.asp>>. Acesso em: 22 set. 2008.

ROBERTS, A. G. **Organic coatings**: properties, selection and use. Washington, D.C: United States Department of Commerce, 1968.

SILVA, F. D. P. de. **Análise da influência das montadoras de automóveis sobre as empresas de autopeças sob o paradigma da produção enxuta**: um estudo de caso de empresas brasileiras. 2002. 251 p. Tese (Doutorado)—Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia da Produção, São Paulo, 2002.

_____. Padrões normativos para sistemas da qualidade. In: AMATO NETO, J. **Manufatura classe mundial**. São Paulo: Atlas, 2001. p. 177-204.

TAGHIZADEGAN, S. **Essential of Lean Six Sigma**. Oxford: Elsevier, 2006.

VIEIRA, S.; WADA, R. **As sete ferramentas para estatísticas para o controle de qualidade**. Brasília: QA&T, 1991. 133p.

WERKEMA, C. **Criando a cultura Seis Sigma**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002. 256 p.

_____. **Introdução às ferramentas do Lean Manufacturing**. Belo Horizonte: Werkema, 2006.

WOMACK, J. P. **A máquina que mudou o mundo**. Rio de Janeiro: Campus, 1992. apud SILVA, F. D. P. de. **Análise da influência das montadoras de automóveis sobre as empresas de autopeças sob o paradigma da produção enxuta**: um estudo de caso de empresas brasileiras. 2002. 251 p. Tese (Doutorado)—Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia da Produção, São Paulo, 2002.

ANEXOS

ANEXO 1 – Política de Gestão Integrada a América do Sul

Abaixo na figura 63, tense a Política de Gestão Integrada a América do Sul, que norteou os objetivos do experimento.

Política de Gestão Integrada a America do Sul

A BASF é uma INDÚSTRIA QUÍMICA comprometida globalmente com os princípios do DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL e ATUAÇÃO RESPONSÁVEL, que busca o aprimoramento da QUALIDADE, SEGURANÇA, SAÚDE, MEIO AMBIENTE e RESPONSABILIDADE SOCIAL.

É NOSSA RESPONSABILIDADE E COMPROMISSO:

- Praticar os Valores e Princípios e o código de conduta da BASF
- Atender os requisitos legais e outros assumidos
- Agregar valor aos negócios
- Prevenir a poluição ambiental e demais impactos adversos
- Preservar a segurança e a saúde de nossos colaboradores
- Promover a melhoria contínua
- Buscar a permanente capacitação
- Promover a diversidade
- Aprimorar relacionamentos com as partes interessadas com os quais interagimos

Com a PARTICIPAÇÃO ATIVA DE TODOS, nosso objetivo é a SATISFAÇÃO DE NOSSOS CLIENTES, fornecendo-lhes produtos e serviço que atendam às suas necessidades e expectativas para, assim, atingir a EXCELÊNCIA EMPRESARIAL.

FIGURA 63 – POLÍTICA INTEGRADA DA AMÉRICA DO SUL

FONTE: BASF (2009).

ANEXO 2 – Visão da Basf em 2015

Abaixo na figura 64, a Visão da BASF em 2015.



FIGURA 64 – VISÃO DA BASF 2015
FONTE: BASF, 2009

VISÃO DA BASF 2015

O amanhã começa agora. As ações de hoje impactam e constroem o futuro. Cada colaborador é estratégico no caminho que nos conduzirá ao futuro, rumo à BASF 2015. O caminho está claramente assinado. É só seguir adiante, com confiança e determinação. O êxito da BASF está em nossas mãos. Para construir o futuro: mudar, enfocar e agir!

Formar a melhor equipe na indústria

Nós, da BASF, fazemos parte de uma empresa inovadora e bem-sucedida. Temos um excelente time de colaboradores comprometidos, qualificados e engajados num processo constante de melhoria. Estimulamos o espírito inovador entre nossos colaboradores, que são a chave do nosso sucesso. A BASF promove e valoriza a diversidade como vantagem competitiva e oportunidade de enriquecimento profissional.

Assegurar o desenvolvimento sustentável

Nossas atividades se baseiam nos princípios do desenvolvimento sustentável. Para a BASF, uma empresa sustentável, significa combinar sucesso econômico com proteção ambiental e responsabilidade social, contribuindo assim para um futuro melhor para as gerações futuras. Nós atuamos de forma responsável e temos compromisso com a vida.

Ajudar nossos clientes a obter ainda mais sucesso

Nós estamos onde estão nossos clientes. Investimos no momento certo e em mercados em crescimento. Hoje, estamos em todos os mercados importantes do mundo. Queremos ser parceiros estratégicos de nossos clientes, focar ainda mais de perto as suas necessidades futuras, desenvolver e aplicar os melhores modelos de negócios para eles e para nós. Com isto, conseguiremos vantagem competitiva e aumentaremos a nossa lucratividade.

Obter retorno financeiro acima do custo de capital

Com o capital investido, conseguimos uma rentabilidade atrativa para nossos acionistas. Nosso sucesso pode ser mensurado pelo valor que os acionistas conferem às ações da BASF. Aumentar a geração de valor é de extrema importância para nossa empresa e seus clientes, colaboradores e investidores. Poderemos continuar competitivos e ampliar ainda mais nossa posição de liderança como "The Chemical Company" somente se agregamos valor constantemente. Cada colaborador tem uma influência sobre como obtemos retorno financeiro acima do custo de capital – que é uma pré-condição para o sucesso em longo prazo.