

DANIEL CARNEIRO DONADEL

**Aplicação da Metodologia DMAIC
para Redução de Refugos em uma
Indústria de Embalagens**

São Paulo

2008

DANIEL CARNEIRO DONADEL

**Aplicação da Metodologia DMAIC
para Redução de Refugos em uma
Indústria de Embalagens**

Trabalho de Formatura apresentado à
Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo
para obtenção do Diploma de
Engenheiro de Produção
Orientador: Prof. Mestre
Melvin Cymbalista

São Paulo

2008

FICHA CATALOGRÁFICA

Daniel Carneiro Donadel

Aplicação da metodologia DMAIC para redução de refugo em uma indústria de embalagens / D.C. Donadel. -- São Paulo, 2008.
122 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Produção.

1.Controle da qualidade 2.Administração da produção 3.Qualidade do processo I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Produção II.t.

Para ti Mãe,
que foste exemplo de persistência, coragem e dedicação.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Melvin Cymbalista, por sua sinceridade e abertura nos diálogos sobre a essência da qualidade e a graduação.

À Escola Politécnica da USP e ao Grêmio Politécnico, por formarem, além de um engenheiro, um cidadão.

Às pessoas da empresa “E” que apoiaram o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Paulo Yida e à Equipe Efeso, pela experiência, carisma e a oportunidade dada.

À Dani, que me ajudou com as crases e com as crises.

Aos meus amigos Renan e José, companheiros por toda vida.

Aos meus amigos Felipe e Diana, por toda vida.

A todas pessoas cujo caráter é 99,99966% conforme, em lealdade, gratidão e honestidade, que me trouxeram até aqui e me inspiram diariamente nesta melhoria contínua. Estas pessoas são capazes de se identificar nesta frase. (adaptado de Werkema, 2004)

Obrigado.

A filosofia de um século é o bom senso do próximo.

(Henry Ward Beecher)

RESUMO

O trabalho começa no setor de qualidade de uma fábrica de embalagens, estratificando as perdas para definir um problema a se atacar. É decidido então pela concentração de esforços na redução de refugo gerado pela má formação em uma máquina de termoformagem de “potes”. Para tal resolução, na revisão bibliográfica são levantados diferentes programas de melhoria da produtividade e qualidade, como o TQM, TPM e Seis Sigma, comparando-os e argumentando a escolha da metodologia DMAIC, proveniente do Seis Sigma. Baseado no roteiro DMAIC busca-se, a cada passo, entender, justificar e aplicar cada ferramenta e diretriz para a redução do refugo. São aplicadas algumas das ferramentas básicas da qualidade, testes de hipóteses, R&R, ANOVA entre outros. Em geral, no trabalho é possível identificar oportunidades de melhoria que foram detectadas, além dos resultados alcançados com as soluções implantadas.

Palavras-chave: Qualidade. Controle da Qualidade. Qualidade do Processo. Seis Sigma. DMAIC.

ABSTRACT

The following document starts in the quality department of a packing factory, with the deployment of some quality losses, looking for some problem to be solved. It's decided then to focus all the efforts in the scrap reduction from a molding machine. To solve this problem, a conceptual framework for the general structure of the mains quality and productivity methodologies was built, including TQM (Total Quality Management), TPM (Total Productive Maintenance) and Six Sigma, evaluating them and arguing the choice for the DMAIC route, born in the Six Sigma philosophy. Following the rules of the DMAIC, each step is studied, justified and applied, focusing the reduction of the scrap and the total understanding of the methodology. Some of the tools used to solve this problem are: The Seven Tools of Quality, hypothesis tests, R&R, ANOVA, between others. In general, this project found out some benefit opportunities to be followed and reached some results with the actions done.

Keywords: Quality. Quality Control. Six Sigma. DMAIC.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 2.1: MACRO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE EMBALAGENS. ELABORADO PELO AUTOR.	
FIGURAS ILUSTRATIVAS.....	25
FIGURA 2.2: CUSTOS DOS DEFEITOS CONFORME O MOMENTO DE SUA IDENTIFICAÇÃO. FONTE:	
MIYAKE, DARIO (2004)	31
FIGURA 2.3: CRITÉRIOS PARA ESCOLHA DE PROJETO. ADAPTADO DE PANDE ET AL, 2001.....	37
FIGURA 3.1- COMPOSIÇÃO DO PREÇO (APOSTILA SIX SIGMA INTRO - GPS CONSULTORIA)	39
FIGURA 3.2: NORMAL CENTRALIZADA COM LIMITES DE ESPECIFICAÇÃO. ELABORADA PELO	
AUTOR.....	44
FIGURA 3.3: NORMAL DESLOCADA COM LIMITES DE ESPECIFICAÇÃO. ELABORADA PELO AUTOR.	
.....	44
FIGURA 3.4: ELEMENTOS DE MELHORIA SEIS SIGMA. ELABORADO PELO AUTOR.....	46
FIGURA 3.5: MAPA RODOVIÁRIO COM RESPECTIVAS RAMPAS DE ACESSO. ADAPTADO DE PANDE	
ET AL, 2001	47
FIGURA 3.6: RALAÇÃO PDCA - DMAIC. FONTE: WERKEMA (2004)	48
FIGURA 3.7: MÉTODOS E FERRAMENTAS ESSENCIAIS DO SEIS SIGMA. FONTE: PANDE ET AL,	
2001	50
FIGURA 3.8: EXEMPLO DE GRÁFICO DE CONTROLE	51
FIGURA 3.9: CAUSAS COMUNS E ESPECIAIS. ADAPTADO DE RAMOS (2000)	52
FIGURA 3.10: ILUSTRAÇÃO GRÁFICA DO ÍNDICE Cp.....	53
FIGURA 3.11: ILUSTRAÇÃO GRÁFICA DO ÍNDICE Cpk	53
FIGURA 3.12: RELAÇÃO DO DOE NO PROCESSO. ELABORADO PELO AUTOR.	54
FIGURA 3.13: MODELO DE DIAGRAMA CAUSA-EFEITO	57
FIGURA 4.1: MODELO SIPOC. ELABORADO PELO AUTOR.	63
FIGURA 4.2: VARIÁVEIS DO PROCESSO. ELABORADA PELO AUTOR.....	66
FIGURA 4.3: TESTES REALIZADOS NA TERMOFORMAGEM. ELABORADO PELO AUTOR.	67
FIGURA 4.5: ESQUEMA MÁQUINAS/MOLDES/CAVIDADES. ELABORADO PELO AUTOR.	68
FIGURA 4.4: RELAÇÃO AMOSTRAGEM - REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS. ELABORADO PELO AUTOR.	
.....	68
FIGURA 4.6: VARIÁVEIS CONTROLADAS (X) E SAÍDAS (Y) DO PROCESSO: $Y=f(X)$. ELABORADO	
PELO AUTOR.	70
FIGURA 4.7: GAGE R&R (ANOVA) PARA O COMPRIMENTO	72

FIGURA 4.8: DIAGRAMA DE CAUSA-EFEITO	76
FIGURA 4.9: DIAGRAMA DE RELAÇÕES (CONTINUA)	78
FIGURA 4.10: DIAGRAMA DE RELAÇÕES (CONCLUSÃO)	79
FIGURA 4.11: DIAGRAMA DE MATRIZ. ELABORADO PELO AUTOR.	80
FIGURA 4.12: PARETO DA ANÁLISE DE CRITICIDADE DO DEFEITO POR ÁREA FUNCIONAL E FONTE (6Ms).	80
FIGURA 4.13: BOX-PLOT DAS CINCO VARIÁVEIS DO PROCESSO. ELABORADO PELO AUTOR.	82
FIGURA 4.14- DIAGRAMA DE DISPERSÃO POR CAVIDADES.....	86
FIGURA 4.15: CÁLCULO DE GANHO ESPERADO. ELABORADO PELO AUTOR.	99
FIGURA 4.16: COMPARAÇÃO DE CUSTOS DE QUALIDADE E COMPRA DE MOLDE	100
FIGURA 4.17: DADOS DOS EXPERIMENTOS REALIZADOS. ELABORADO PELO AUTOR.....	101
FIGURA 4.18: FORMATO DOS DADOS USADOS PARA ANOVA. TEMPERATURA COMO COLUNAS,	102
FIGURA 4.19: VARIAÇÃO DA ALTURA EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA	102
FIGURA 4.20: VARIAÇÃO DO PESO EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA	103
FIGURA 4.21: VARIAÇÃO DA ALTURA DA ABA EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA	104
FIGURA 4.22: VARIAÇÃO DO COMPRIMENTO EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA	105
FIGURA 4.23: EXEMPLOS DE GRÁFICO GERADO PELO SISTEMA NOVO DE REGISTRO DE DADOS.	107
FIGURA 5.1: INTERFACE VISUAL DO NOVO SISTEMA DE REGISTRO DE DADOS. ELABORADO PELO AUTOR.	119
FIGURA 5.2: GAGE R&R (ANOVA) PARA ALTURA	120
FIGURA 5.3: GAGE R&R (ANOVA) PARA O PESO	120
FIGURA 5.4: GAGE R&R (ANOVA) PARA ALTURA DA ABA.....	121

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CQ	Controle da Qualidade
DMAIC	Design, Measure, Analyse, Improve, Control
ECRS	Eliminar, Combinar, Reorganizar, Simplificar
ERP	Enterprise Resource Planning
JIT	Just In Time
LIC	Limite Inferior de Controle
LIE	Limite Inferior de Especificação
LSC	Limite Superior de Controle
LSE	Limite Superior de Especificação
NC	Não Conformidade
PCP	Programação e Controle da Produção
RNC	Relatório de Não Conformidade
SKU	Stock Keeping Unit (Produtos Mantidos em Estoque)
TF	Trabalho de Formatura
TPM	Total Productive Maintenance (Manutenção da Produtividade Total)
TQC	Total Quality Control (Controle Total da Qualidade)
TQM	Total Quality Management (Gestão da Qualidade Total)
VOC	Voice Of Client (Voz do Cliente)
WIP	Work in Progress

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	10
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	13
SUMÁRIO	14
1. INTRODUÇÃO	18
1.1 O ESTÁGIO.....	18
1.1.1 <i>A Solving Efeso Consulting</i>	18
1.1.2 <i>As atividades no estágio</i>	19
1.2 A ESCOLHA DA ÁREA DE ATUAÇÃO.....	20
1.3 BUSCA DA EMPRESA PARA REALIZAÇÃO DO TRABALHO.....	20
1.3.1 <i>A Empresa “E”</i>	21
1.3.2 <i>Âmbito do trabalho</i>	21
1.4 RESTRIÇÃO DE PUBLICAÇÃO.....	22
2. A ESCOLHA DO TEMA	24
2.1 O PROCESSO	25
2.1.1 <i>Levantamento de possíveis problemas e oportunidades</i>	26
2.2 ESTRATIFICAÇÃO DO PROBLEMA	28
2.2.1 <i>Levantamento dos dados históricos de não-conformidades</i>	28
2.2.2 <i>Definição do Problema</i>	36
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	39
3.1 QUALIDADE.....	39
3.2 BREVE HISTÓRICO DA QUALIDADE	40
3.3 ALGUMAS DAS PRINCIPAIS METODOLOGIAS DE QUALIDADE	40
3.4 SEIS SIGMA	44
3.4.1 <i>Metodologia DMAIC</i>	48
3.5 ALGUMAS FERRAMENTAS ESPECÍFICAS	51
3.5.1 <i>CEP</i>	51
3.5.2 <i>Medindo a Capabilidade do Processo</i>	53
3.5.3 <i>DOE</i>	54

3.5.4	<i>Testes de Hipóteses e Análise de Variância</i>	55
3.5.5	<i>Algumas Ferramentas Básicas da Qualidade</i>	56
3.6	MÉTODOS ESCOLHIDOS	58
4.	RESOLUÇÃO DO PROBLEMA – DMAIC	62
4.1	D - DEFINIÇÃO	62
4.1.1	<i>Carta de Projeto</i>	62
4.1.2	<i>Voz do Cliente</i>	63
4.1.3	<i>Desenho do Processo</i>	63
4.1.4	<i>Viabilidade</i>	64
4.2	M - MEDIÇÃO	66
4.2.1	<i>Variáveis envolvidas no problema</i>	66
4.2.2	<i>Fonte de Dados</i>	69
4.2.3	<i>Confiabilidade da Medição</i>	71
4.3	A - ANÁLISE	74
4.3.1	<i>Brainstorming</i>	75
4.3.2	<i>Diagrama Causa-Efeito</i>	76
4.3.3	<i>Análise das Causas Raízes (Diagrama de Relações)</i>	77
4.3.4	<i>Diagrama de Matriz – Partes da Máquina</i>	80
4.3.5	<i>Histograma</i>	81
4.3.6	<i>Box Plot</i>	82
4.3.7	<i>Medindo a Capabilidade do Processo</i>	83
4.3.8	<i>Diagrama de Dispersão</i>	86
4.3.9	<i>Gráfico Linear</i>	87
4.3.10	<i>Testes de Hipóteses</i>	88
4.3.11	<i>Análise de Capacidade das Cavidades do Molde</i>	94
4.4	I - IMPLEMENTAÇÃO	95
4.4.1	<i>Plano de Ação</i>	95
4.4.2	<i>MANUTENÇÃO GERAL DA MÁQUINA</i>	98
4.4.3	<i>PLANO DE TREINAMENTO</i>	98
4.4.4	<i>RECUPERAÇÃO DE MOLDE</i>	99
4.4.5	<i>PARÂMETROS DA TEMPERATURA</i>	100
4.5	C - CONTROLE	106
4.5.1	<i>Sistema de resposta do processo</i>	107
4.5.2	<i>Padrões Operacionais</i>	108
4.5.3	<i>CEP</i>	109

5. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO.....	111
5.1 DISCUSSÃO E AVALIAÇÃO CRÍTICA DOS RESULTADOS.....	111
5.2 AVALIAÇÃO CRÍTICA DA BIBLIOGRAFIA	114
5.3 CONCLUSÕES.....	115
FONTES	116
ANEXOS	119
ANEXO 01: SISTEMA DE REGISTRO DE ENSAIOS DA QUALIDADE.....	119
ANEXO 02: ANÁLISES R&R	120
ANEXO 03: TABELA USADA PARA RESOLUÇÃO COMPUTACIONAL DO TESTE DE HIPÓTESES	122

PARTE I INTRODUÇÃO**PARTE II DEFINIÇÃO DO TEMA****PARTE III REVISÃO BIBLIOGRÁFICA****PARTE IV APLICAÇÃO DA METODOLOGIA****PARTE V DISCUSSÃO E CONCLUSÃO**

1. INTRODUÇÃO

1.1 *O Estágio*

Como primeiro e único estágio, a Solving Efeso Consulting foi a responsável por toda minha experiência e desenvolvimento profissional até o momento. Trata-se de uma Consultoria de Operações Industriais, com foco em uma metodologia própria, baseada principalmente no TPM. Neste estágio foi possível juntar minha área de interesse (qualidade e processos), aplicar ferramentas totalmente relacionadas com a Engenharia de Produção e outros benefícios valiosos que a carreira de um consultor proporciona, como a abrangência e diversidade de trabalho.

1.1.1 *A Solving Efeso Consulting*

A Efeso Consultoria foi fundada em 1979 na Itália por um grupo de profissionais determinados a encontrar soluções de excelência na gestão de operações. Os relacionamentos e a experiência internacional construíram um forte e exclusivo *know how*, hoje considerado o maior capital da empresa.

Desde o começo a Efeso teve relacionamentos fortes com peritos internacionais, das primeiras mudanças e implantação do Just in Time, com a Fuji Consulting, a parceria com o JIPM (Japan Institute of Plant Maintenance), até Richard J. Schonberger, guru americano da Manufatura de Classe Mundial. No final dos anos 80 a Efeso decidiu fundir todo o *Know how* conhecido e desenvolvido em um sistema único, que se tornou a base de dados dos mais de 300 consultores no mundo, em todos os continentes.

Assim surgiu o WCOM – World Class Operational Management, metodologia interna da empresa, desenvolvida a partir do *know how* do TPM, Lean Manufacturing e Seis Sigma.

Em 2001 a fusão com a Solving Consultoria, criou a Solving Efeso, que hoje conta com mais de 500 consultores e foi considerada uma das vinte maiores empresas de consultoria do mundo pela Paris Stock. A unidade Solving Efeso América do Sul, sediada em São Paulo, possui diversos clientes de grande porte no Brasil, Argentina e México, em sua maioria implementando o programa WCOM.

1.1.2 As atividades no estágio

Segue abaixo as principais atividades desenvolvidas no estágio com uma breve descrição:

- **Estudo da Metodologia WCOM**

WCOM (Word Class Operational Management) é a metodologia própria da empresa focada em Operações Industriais. Todo o *know how* da empresa está consolidado neste conjunto extenso de arquivos, denominado *Consultant Toolkit*. O objetivo do estágio é formar um Consultor do WCOM, logo trata-se de uma constante aprendizagem, com diversos treinamentos da metodologia, inclusive no cliente.

- **Assistência aos Consultores**

Ainda relacionado ao WCOM, em diversas ocasiões os consultores necessitavam algum tipo de ajuda, seja relacionada ao material do treinamento, pesquisas, dificuldades em softwares ou no desenvolvimento do Sistema de Informação do Projeto, que registram e fornecem todos os tipos de dados e indicadores para a coordenação do projeto.

- **Auxílio administrativo no escritório**

Atividades como desenvolvimento de propostas técnicas e comerciais para vender a novos clientes, desenvolvimento de pesquisa de satisfação de cliente, atividades relacionadas com marketing e gestão da empresa.

- **Traduções**

Uma demanda da empresa é a tradução de novas metodologias que chegam da sede na Itália em inglês. Como o Toolkit está em constante melhoria, novos exemplos e teorias são criados todos os anos e cada país deve traduzir para a sua língua para poder aplicar nos clientes quando necessário. Esta tradução não pode ser feita por um tradutor comum, por possuir muitos termos técnicos e demandar um conhecimento específico da área. Assim uma das atribuições acordadas do estágio seria de vez em quando trabalhar nesta tradução de novas metodologias.

1.2 A escolha da área de atuação

Sempre tive uma fascinação pelas áreas de qualidade e processos e me identifiquei muito com diversos cursos relacionados às mesmas na graduação, como ‘Estatística’, ‘Controle da Qualidade’, ‘Gestão da Qualidade’ e ‘Operações Industriais’. Passei a vislumbrar como as ferramentas da qualidade podem ser muito bem utilizadas em diversas situações (em vários setores), não se restringindo às suas aplicações iniciais, ou seja, àquelas citadas nos seus desenvolvimentos.

Com a entrada na Efeso Consultoria passei a vivenciar e me especializar em algumas metodologias de qualidade e gestão de operações, reafirmando meu interesse na área.

1.3 Busca da empresa para realização do trabalho

A empresa escolhida para o desenvolvimento do trabalho acordou fazê-lo em cláusulas de total sigilosidade, incluindo a não exposição do nome da empresa. Esta será tratada então, para devidos fins, como a **EMPRESA E**, por ser uma indústria de embalagens.

A empresa E foi a empresa que, dentre os clientes da consultoria, tive um maior envolvimento, o qual me possibilitou uma maior interação com os funcionários, os diferentes setores, acesso aos dados e melhor distinção dos seus problemas. Acompanhando o programa WCOM neste cliente, lecionei e participei de alguns treinamentos e, com o tempo, cheguei até a liderar um projeto de melhoria específica em uma máquina (redução de quebras), com o objetivo de aumentar o OEE do equipamento.

Esses fatores me levaram a vislumbrar áreas para desenvolver um trabalho de melhoria, seja de reparação ou oportunidade.

1.3.1 A Empresa “E”

A Empresa E produz hoje **embalagens plásticas** pelo processo de termoformagem, com e sem impressão. Especializados na transformação de laminados rígidos de PET, produzem também polipropileno e poliestireno, convertendo-os em uma extensa variedade de embalagens para suprir as necessidades das indústrias, como por exemplo, as de alimentos, eletroeletrônicas, de cosméticos, automobilísticas e outras. Seus produtos são destinados principalmente à indústria alimentícia, sendo os principais produtos os “potes de margarina”.

A Empresa E é certificada na norma ISO9001:2000, garantindo uma base de *know how* e documentação necessária para o desenvolvimento deste trabalho.

1.3.2 Âmbito do trabalho

Na Empresa E essa busca rendeu em princípio diversas tentativas sem sucesso, que pouco me interessaram ou tampouco vislumbravam resultados significativos, como, por exemplo, a reestruturação do sistema de informações do PCP, da Manutenção ou da Engenharia de Processos. Mesmo detectada a falha e a demanda da empresa, não era um tema que despertasse interesse, e em breve estaria prevista a implantação de um ERP.

Após uma reunião com o Gerente da Qualidade, discutimos uma série de possibilidades de melhoria, que não estavam sendo tratadas por falta de recursos humanos ou financeiros. O departamento mantinha relatado o histórico das perdas (não conformidades) e não tomavam atitudes estruturadas, a longo prazo, em relação a mesmas, tampouco faziam um estudo aprofundado sobre suas causas.

Assim resolvi estudar melhor este problema e adotei como âmbito do trabalho um projeto de **melhoria no setor da qualidade da Empresa E**. O gerente recepcionou a proposta de portas abertas e dispôs-se a ajudar no projeto. O objetivo macro do setor é **reduzir o número de não conformidades detectadas**, que geram o refugo do material e maiores possibilidades de reclamação. O fato do controle ser por amostragem induz que, quanto maior o índice de não conformidades detectadas, maior a probabilidade de reclamações recebidas dos Clientes.

1.4 Restrição de Publicação

Visto que muitos dados operacionais da empresa são considerados confidenciais, foi concordado por ambas as partes um acordo de sigilo, no qual os dados serão mascarados ou ocultados na maior parte do trabalho. Isto será realizado ocultando dados administrativos irrelevantes, codificando nomes de máquinas e setores e mascarando os valores numéricos (custos, quantidades, etc.) por alguma função que não altere o resultado final. Com isso, o trabalho invalida qualquer conclusão que possa ser tirada de seus dados quantitativos. Com o que o trabalho apresenta já é possível compreender a teoria e a aplicação da metodologia, que é o escopo deste trabalho.

PARTE I INTRODUÇÃO

PARTE II DEFINIÇÃO DO TEMA

PARTE III REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

PARTE IV APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

PARTE V DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

2. A ESCOLHA DO TEMA

Este trabalho de formatura não possui um problema pré-estabelecido e desenvolverá um roteiro para a identificação deste problema.

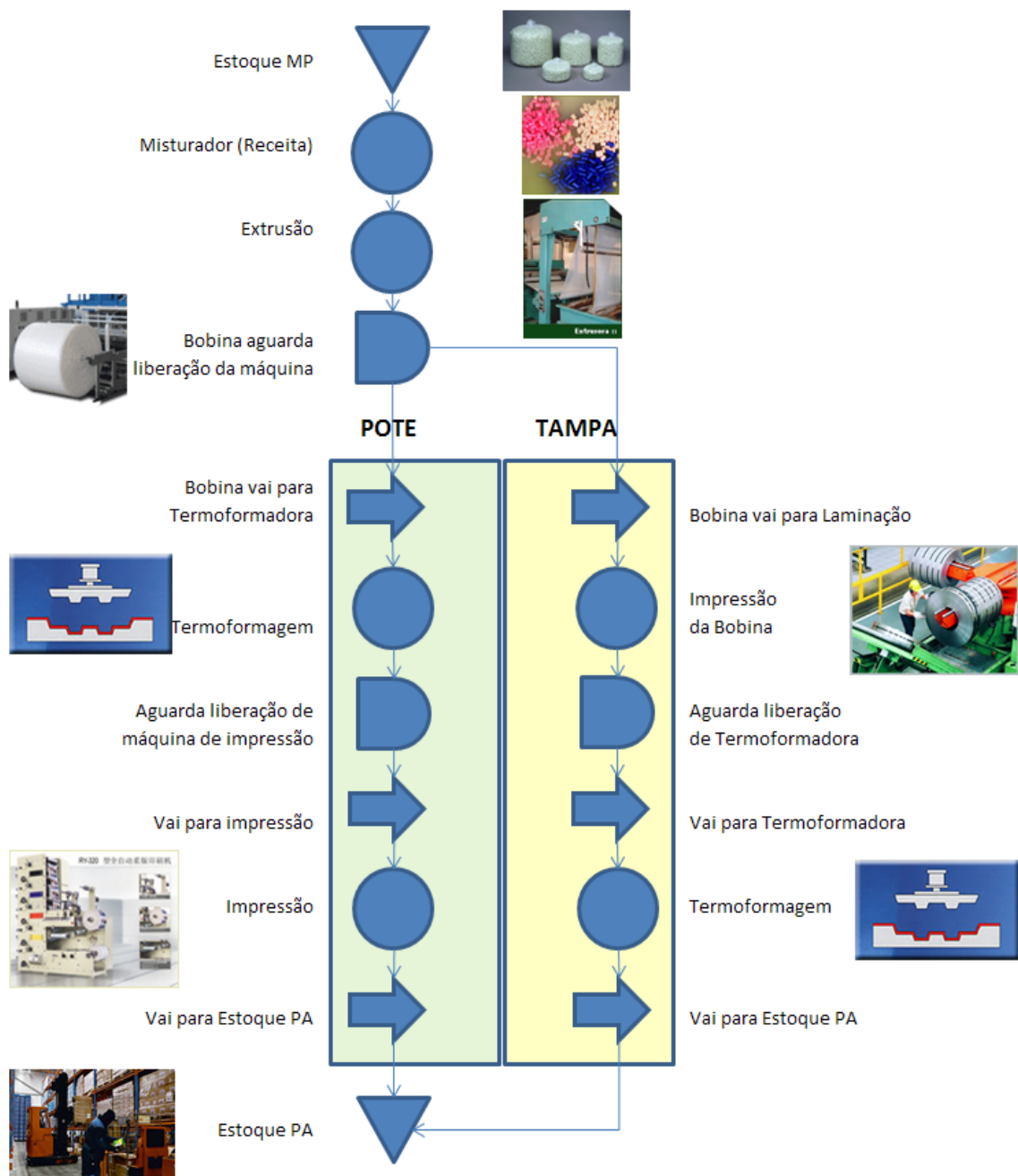
“Uma boa seleção de projetos é, em si mesma, um processo; se você seguiu-lo bem, vai poder melhorar substancialmente seus acertos” (Pande et al, 2001).

A PARTE 2 do trabalho remete inteiramente à definição do problema sobre o qual será desenvolvido o TF.

2.1 O Processo

Abaixo temos o fluxograma de processo simplificado, dos potes e tampas, que utilizam a mesma matéria prima e passam por praticamente os mesmos processos.

Figura 2.1: Macro Processo de Fabricação de Embalagens. Elaborado pelo autor. Figuras Ilustrativas.



2.1.1 *Levantamento de possíveis problemas e oportunidades*

Não existe uma metodologia específica para a seleção de projetos. Existem algumas questões que devem ser levantadas quando um projeto se torna candidato. “Quando se tem uma longa lista de projetos potenciais, pode ser uma boa idéia primeiro diminuir esta lista usando alguns critérios qualitativos ou algum tipo de processo de voto em grupo” (Pande et al, 2001).

Para levantar os possíveis problemas da qualidade será feita uma análise de seu histórico, buscando os dados que claramente indicarão grandes perdas ou oportunidades para interferência. Será utilizada uma metodologia de estratificação dos dados (*deployment*), baseada no *Princípio de Pareto*, que acusa poucas causas responsáveis por grandes perdas e um grande número de causas responsáveis por menores perdas. Esse princípio também é conhecido como “Regra do 80-20”, deduzindo que 80% das perdas estão em 20% dos problemas e 20% das perdas estão em 80% dos problemas. O Pareto é uma ferramenta da qualidade que foca os problemas mais vitais, que mais causam impacto, menosprezando a maioria dos problemas, que normalmente são triviais e causam pequeno impacto. A estratificação evidenciará as maiores vozes de perda. Mais instruções sobre a metodologia de estratificação podem ser encontradas em Ishikawa, 1987, pag 139.

Os indicadores que temos disponíveis são dois: o OEE e os RNC (Relatórios de Não Conformidade), controlados pelos setores da qualidade e de processos, respectivamente:

- OEE (Overall Equipment Effectiveness): A planta utiliza o indicador OEE em praticamente todos os seus equipamentos, sendo dividido em vários códigos, possibilitando saber o quanto a máquina perdeu com cada tipo de perda (são 17 possíveis no caso). Com as tabelas de OEE sabemos quais são as principais perdas do processo, separadas em disponibilidade, qualidade e performance. O OEE será especificado na Revisão Bibliográfica mais a frente.

- RNC (Relatórios de Não Conformidade): O departamento de qualidade possui um histórico simples das não conformidades geradas desde 2007. São retiradas amostras de todos os processos da produção para passarem pelo controle de qualidade. Após os testes, a qualidade pode aprovar ou refugar o lote da amostra. O histórico inclui: número de não conformidades por mês, por máquina e a estratificação dos defeitos.

Com esses dados dos indicadores acima podemos utilizar uma metodologia de estratificação para a escolha do tema, com a seguinte proposta:

- i. Levantamento dos dados históricos de não-conformidades**
- ii. Fazer o Pareto destas perdas**
 - a) Por setor**
 - b) Por máquina**
 - c) Por tipo de defeito**
- iii. Análise dos Paretos**
- iv. Escolher pela maior voz que tenha possibilidade de interferência**

Entenda uma não-conformidades (NC) no caso como uma amostra retirada pela qualidade que não passou nos testes de qualidade. Ainda será descrito melhor esse processo de amostragem e qualidade, mas o que interessa no momento é que esta NC gera um refugo na máquina. Esse refugo não é devidamente registrado, é uma tomada de decisão do inspetor que detecta desde quando começou aquele problema e refuga todas caixas entre os dois momentos. O processo é de certa forma muito dependente da percepção das pessoas envolvidas, não possuindo um mapeamento claro de atividades e registros consistentes.

Dado que este refugo gerado não é quantificado, não podemos fazer uma comparação de quanto uma NC gera de refugo, para ponderá-las de tal maneira. Assim, retificando, o nosso principal indicador é o número absoluto de NCs, sem considerar os custos diretos envolvidos. Esse indicador é relevante para o gerente da qualidade, pois ele é cobrado em seus relatórios gerenciais pela redução do mesmo. A diminuição do número de RNCs pode então ser entendida como a voz do cliente (VOC), pois a redução das não conformidades internas causa uma redução das reclamações externas.

2.2 Estratificação do Problema

Seguindo o sumário descrito acima temos:

2.2.1 Levantamento dos dados históricos de não-conformidades

Algumas reuniões com os responsáveis do setor da qualidade e da engenharia de processos forneceram diversos dados relacionados para começarmos uma análise.

Primeiramente foi feita a compilação de vários arquivos da qualidade, gerando um histórico de números de não conformidade por setor. A tabela abaixo mostra a compilação destes dados.

Tabela 2-1: Número absoluto de NCs por setor. Elaborada pelo autor.

	Setores				
	Laminadoras	Extrusoras	Impressoras	Termoformagem 1	Termoformagem 2
fev/07	12	6	34	35	56
mar/07	10	7	53	22	84
abr/07	9	31	93	54	31
mai/07	3	2	58	28	24
jun/07	11	28	55	69	28
jul/07	16	25	44	72	33
ago/07	17	31	34	36	27
set/07	16	24	36	65	37
out/07	16	17	43	27	28
nov/07	18	5	34	41	32
dez/07	29	14	17	42	12
jan/08	30	15	15	73	28
fev/08	54	25	20	57	30
mar/08	30	10	20	60	18
abr/08	31	19	17	74	24
mai/08	16	16	11	65	20
média	19,9	17,2	36,5	51,3	32,0
desvio	12,4	9,5	21,3	18,1	16,8

Abaixo temos os gráficos de não-conformidade de qualidade por setores da fábrica, desde fevereiro de 2007. Ambos possuem os mesmos dados, mas são mostrados em duas configurações diferentes para melhor visualização.

Gráfico 2-1 – Histórico de Não Conformidade por setor (3D)

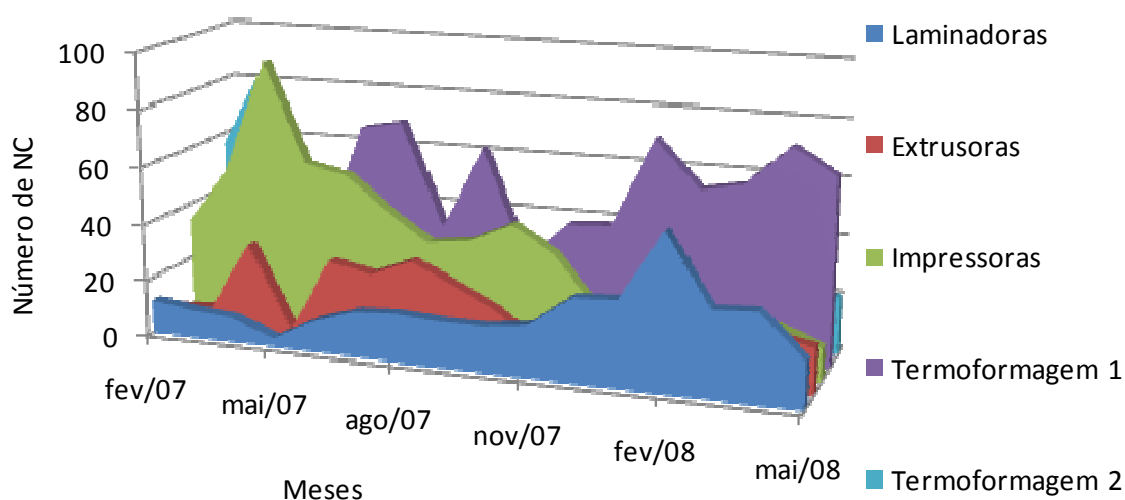
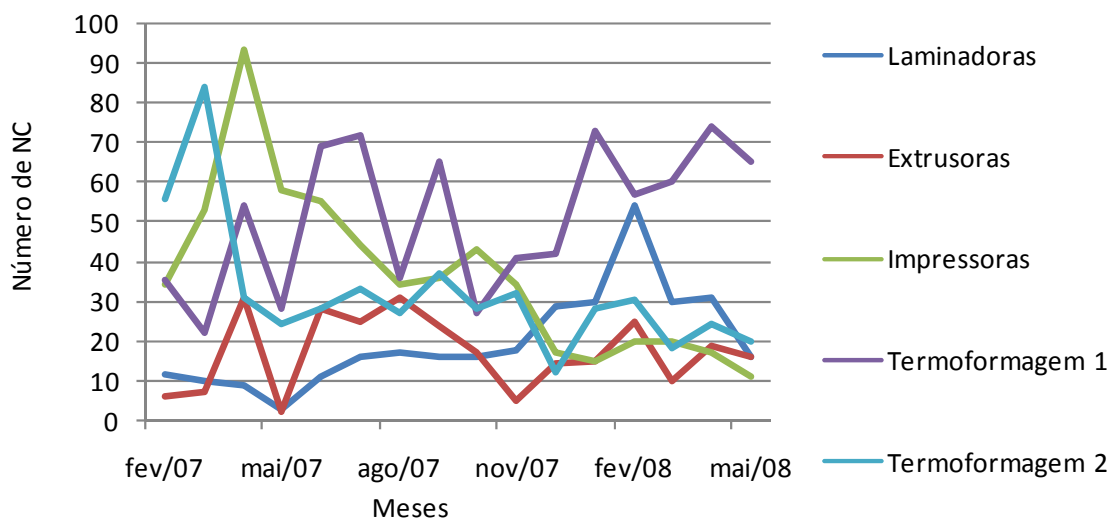
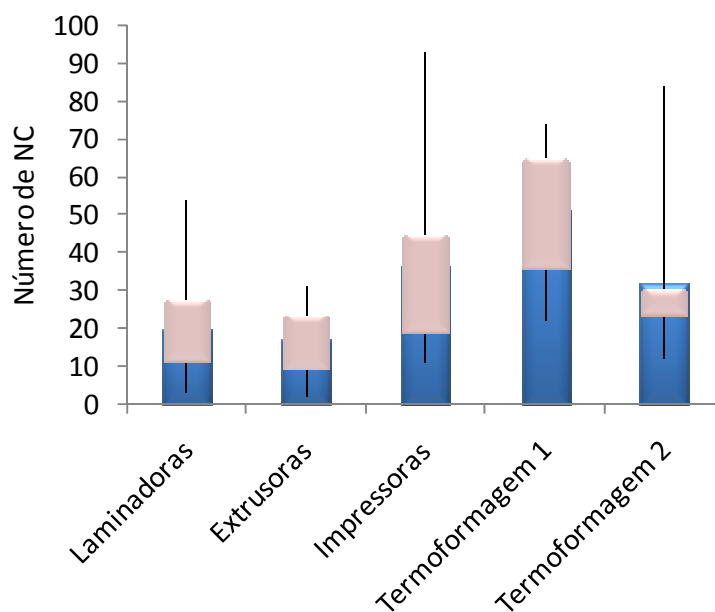


Gráfico 2-2 – Histórico de Não-Conformidade por setor (2D)



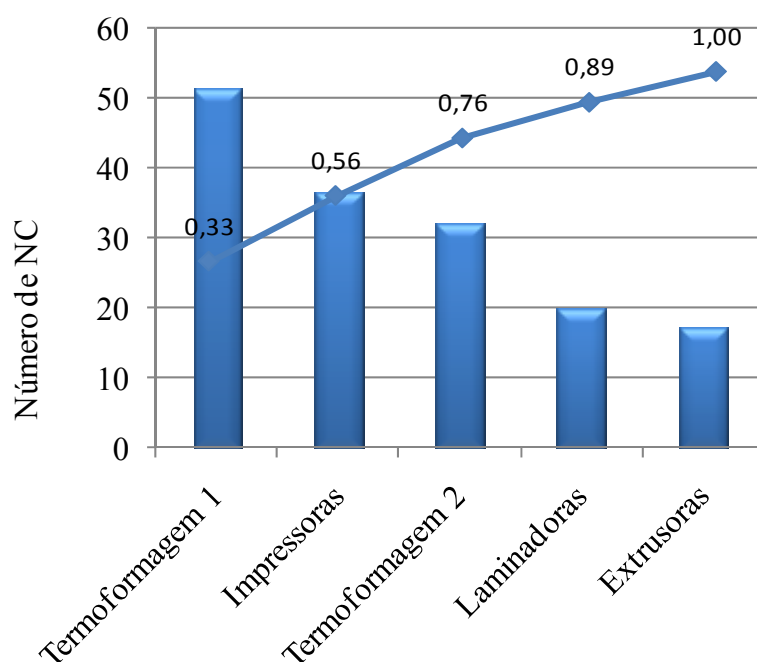
É possível fazer outras análises destes dados, comparando diretamente os setores. O gráfico abaixo é similar ao gráfico box-plot, e mostra a média, os quartis e os pontos extremos de NC por setor por mês. A linha preta indica os extremos (máximo e mínimo); o intervalo em rosa indica os quartis (1º e 3º quartis), e o azul indica a média de NC nos setores, desde fevereiro de 2007.

Gráfico 2-3 – Box-Plot do Histórico de NC



Abaixo temos os mesmos dados de média no Pareto, colocando-os em ordem decrescente.

Gráfico 2-4 Pareto do Histórico de NC



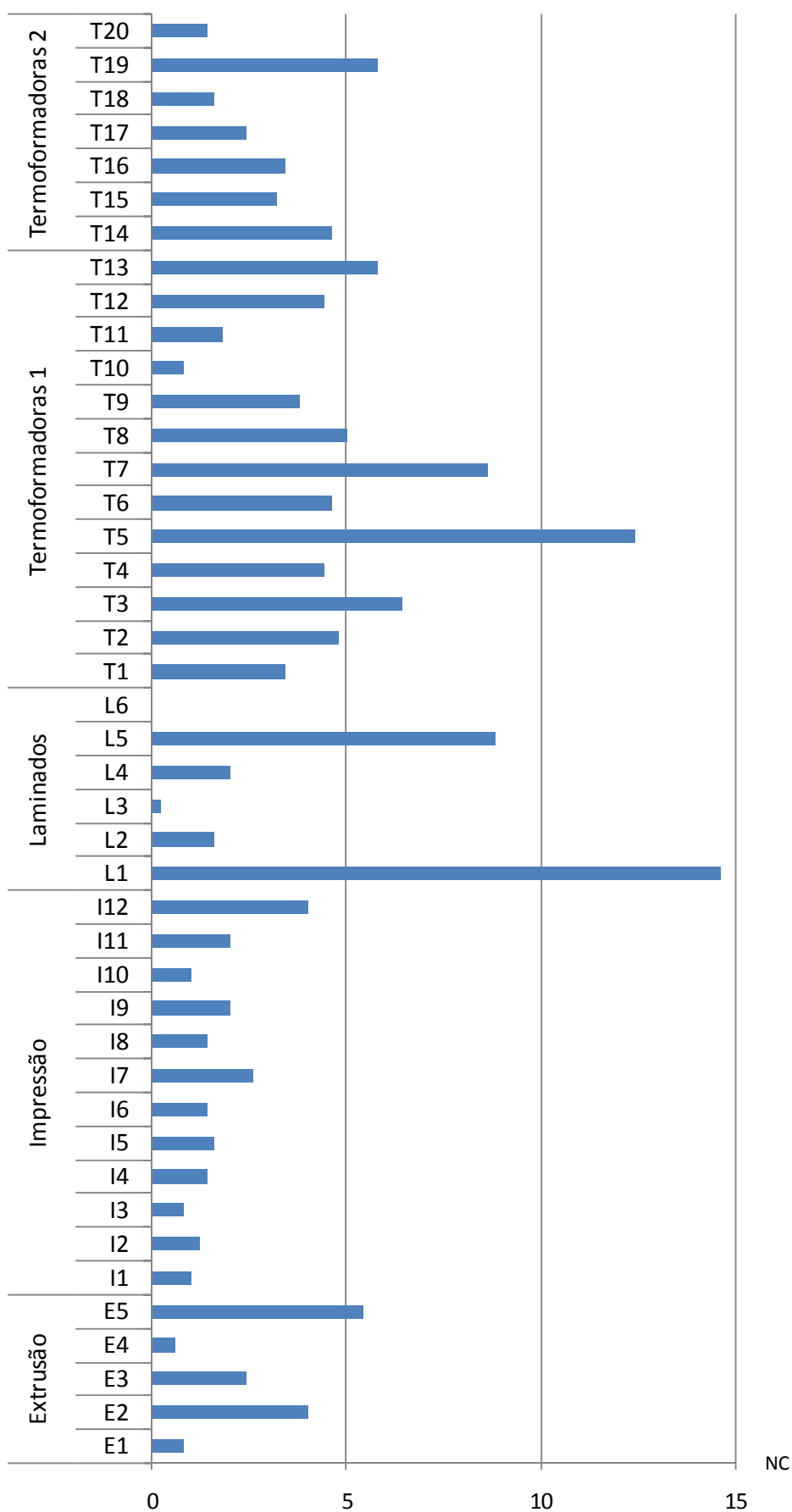
Outro fator importante para determinação de qual setor focar os esforços é o custo que a identificação do defeito tem no setor. A Tabela abaixo ilustra o raciocínio.

Figura 2.2: Custos dos defeitos conforme o momento de sua identificação. Fonte: Miyake, Dario (2004)

Momento de identificação do defeito	No próprio processo	No próximo processo	No fim da linha de produção	Na inspeção final	Na mão do usuário
Momento equivalente no caso de estudo	EXTRUSÃO	TERMOFORMAGEM	IMPRESSÃO	EMPACOTAMENTO PÓS IMPRESSÃO	CLIENTE
Custos consequentes para empresa					
Impactos para a empresa	* Pequeno e restrito	* Pequeno atraso	* Retrabalho * Reprogramação do trabalho	* Grande retrabalho * Atraso na Entrega * Inspeção adicional	* Custo de garantia * Custo administrativo * Perda de reputação * Perda de market share

O segundo passo, aprofundando um nível no problema, foi distinguir os mesmos dados não por setor na fábrica, mas por equipamentos. Assim o gráfico a seguir mostra os dados estratificados por máquinas. Nesse nível apenas foi possível resgatar o histórico de janeiro a maio de 2008.

Gráfico 2-5 – Média de NC por máquinas, de Jan-Mai/08



Com esses dados já temos informação suficiente para definir qual deve ser a área ou até a máquina para interferência direta do problema. Percebe-se claramente um problema significativo no setor Termoformagem 1. A área é a primeira voz no pareto do *gráfico2.4* e possui uma grande variação, vista no *gráfico2.3*. Este setor é o mesmo que foi citado imediatamente quando fui conversar sobre o problema de qualidade com o gerente. Além de ser o setor mais atingido de acordo com os gráficos mostrados, é praticamente o único que tem uma tendência de crescimento nos últimos oito meses. Como essa análise é uma média, devemos garantir que nenhum dado individual ou conjunto de dados está distorcendo esta média, assim analisamos o gráfico por máquinas e vemos que o problema é realmente pulverizado em suas máquinas. No *gráfico2.5* vemos a grande concentração de NC nas máquinas da Termoformagem 1 também, apesar de o maior número individual não ser um deste grupo. O maior valor está na L1, uma máquina antiga dos laminados.

Consideramos que para o desenvolvimento de um projeto não podemos restringir seu benefício a apenas um valor restrito direto, sem considerar as possíveis melhorias que podem vir como efeito colateral deste. O efeito mais direto é a reaplicação horizontal de um projeto em outras máquinas similares, por exemplo. Temos outros benefícios como melhorias dadas ao aumento do conhecimento adquirido no projeto também.

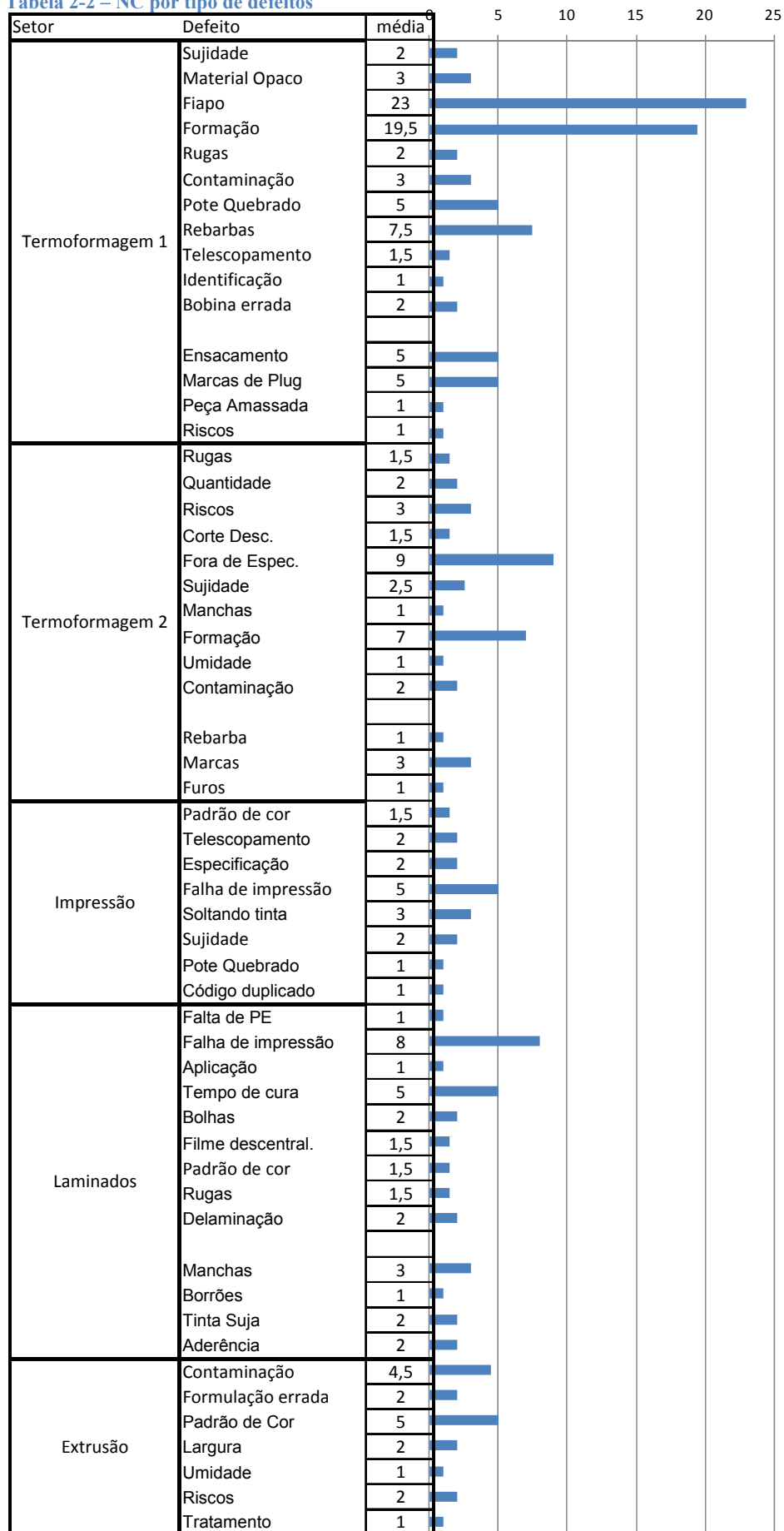
Levando estes pontos em consideração, as máquinas da Termoformagem 1 superam a máquina L1 que não possui nenhuma replicação horizontal, por ser uma máquina antiga que será brevemente substituída.

Dentre as máquinas do setor Termoformagem 1, a T7 e a T5 são as maiores vozes, de acordo com o *gráfico2.5*.

Como estamos tratando de não conformidades, o próximo passo para estratificarmos o problema é identificar os defeitos em questão, ou os *modos de defeito*, o defeito na forma que se manifesta fisicamente, sem nenhum estudo de causa.

O gráfico a seguir mostra essa estratificação:

Tabela 2-2 – NC por tipo de defeitos



Este levantamento de dados mostra uma pulverização total dos tipos de defeito que estamos lidando, salvo algumas exceções, principalmente nos setores de Termoformagem (1 e 2). No primeiro temos duas vezes significativamente maiores que são: *fiapo* e *formação*.

O problema dos fiapos

Fiapo é um problema localizado em bordas quando o corte não é bem feito. A borda fica com saliências de material que são ásperos ou até cortantes. Também conhecido como “rebarba”, o fiapo são os “fiozinhos” que ficam na borda quando o corte não é bem feito.

Uma conversa com o gerente de qualidade informou que o problema de fiapos é crônico há muitos anos, desde que a indústria começou a operar, além de saber do mesmo problema em outros concorrentes. Esse problema é relacionado ao limite tecnológico do molde e da faca, sendo que já tentaram diversas vezes, com projetos e trocas de ferramenta, resolver este problema, mas ele nunca foi significativamente reduzido. Profissionais que estão no ramo há mais de vinte anos já tentaram resolver este problema, mas praticamente desistiram, resolvendo retrabalhar o material para resolvê-lo. Este retrabalho é esquentar a lateral dos potes para que os fiapos derretam e sumam; atividade já bem conhecida pelos operadores quando identificado o problema.

O problema da formação

Formação é um problema de forma do produto final, podendo ser na altura, largura, comprimento ou volume. Estes testes são feitos com paquímetro nos três primeiros, e com uma balança pesando um pote cheio de água no caso do volume. Todas essas especificações possuem seu limite superior e inferior específicos.

O problema de formação também é recorrente e o gerente não entrou muito em detalhes sobre questões de causa e contramedidas tomadas. Esse problema aparentou ser mais imaturo e com possibilidades de melhoria.

2.2.2 Definição do Problema

Dado todos os estudos feitos a respeito das perdas de qualidade descritos acima, temos:

- O Setor Termoformagem 1 como setor crítico no histórico de defeitos e com tendência de crescimento de defeitos nos últimos meses;
- Termoformagem 1 sendo um processo primário, antes da impressão, o que faz o controle de qualidade mais benéfico financeiramente (ver figura 2.2);
- Máquinas dentro do setor Termoformagem 1 com número de perdas similares, destacando-se as T5 e T7;
- Similaridade entre as máquinas do setor Termoformagem 1, facilitando reaplicação horizontal de melhorias;
- Tipos de defeitos com destaque: Fiapo e Formação;
- Desestímulo por parte do gerente de tratar do assunto fiapo, por se tratar de um problema crônico com limites tecnológicos e
- Boa receptividade do gerente por ser estrategicamente interessante tratar do assunto formação.

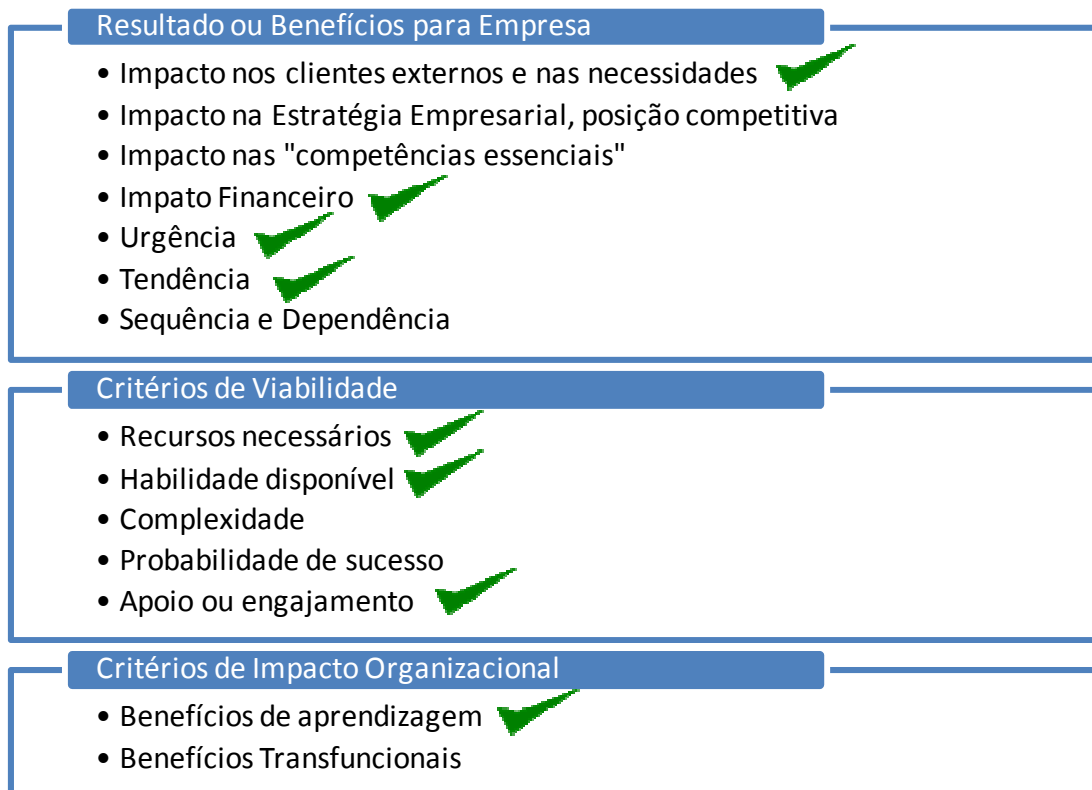
Assim já é possível filtrar claramente o problema na **REDUÇÃO DE REFUGO POR DEFEITOS DE FORMAÇÃO NAS MÁQUINAS DE TERMOFORMAGEM**.

Como há pouca distinção entre as máquinas do setor Termoformagem 1, não é necessário focar o problema em apenas uma das máquinas, pois todas podem colaborar para a resolução do problema.

Todo o estudo até este ponto foi feito para chegar nesta definição do problema acima.

Segundo Pande, um projeto deve ser justificado por algum dos seguintes critérios:

Figura 2.3: Critérios para escolha de projeto. Adaptado de Pande et al, 2001.



As indicações em verde correspondem aos critérios obedecidos. Assim justificamos a relevância do projeto e encerramos a parte da definição do problema.

PARTE I INTRODUÇÃO

PARTE II DEFINIÇÃO DO TEMA

PARTE III REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

PARTE IV APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

PARTE V DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

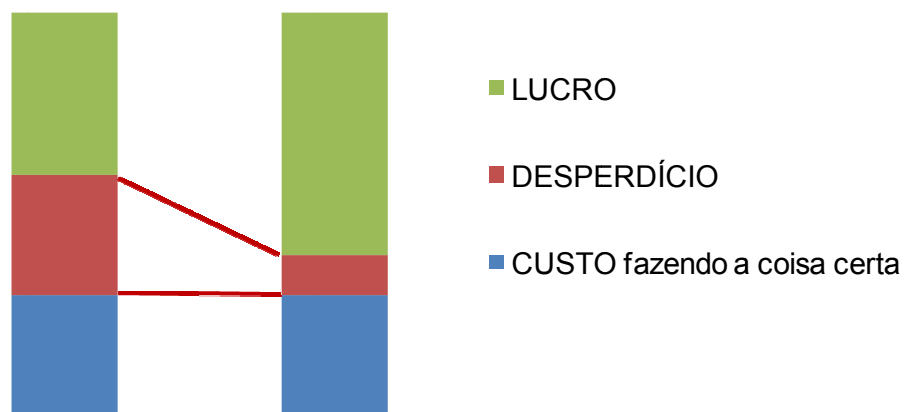
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 *Qualidade*

A definição correta de qualidade é uma ousadia longe do escopo deste trabalho, uma vez que existem diversas definições de qualidade e derivações e suas respectivas definições, como qualidade do trabalho, do produto, do processo, de vida, etc. A palavra que mais se aproxima de todas essas definições é a adequação, adequação a algo almejado. Abordaremos o conceito citado em Montgomery (2004) que separa a qualidade em oito dimensões; são elas: Desempenho, Confiabilidade, Durabilidade, Assistência Técnica, Estética, Características, Qualidade Percebida e Conformidade com Especificações.

A qualidade que será abordada neste trabalho é a de Conformidade com Especificações, reduzindo o número de refugos, portanto reduzindo os custos de produção. O esquema abaixo ilustra de forma simples e clara a finalidade da melhoria de qualidade neste caso:

Figura 3.1- Composição do Preço (Apostila Six Sigma Intro - GPS Consultoria)



3.2 Breve Histórico da Qualidade

A qualidade sempre coexistiu com o ser humano, desde que, por exemplo, suas ferramentas deveriam funcionar corretamente. Tecnicamente a qualidade começou a ser difundida na década de 1920, por grandes nomes, como W. A. Shewart. Após a revolução industrial, cada vez mais a qualidade se tornou vital para sobrevivência das operações, surgindo um departamento separado que cuidava da qualidade além da simples inspeção, com um gabarito tipo “passa/não passa” (Garvin, 88). Segundo Ishikawa (1985), a modernização do Controle da Qualidade no Japão teve início no pós-guerra, com o Controle Estatístico da Qualidade, com W. E. Deming, entre outros.

Muito do que se pode esperar sobre esta onda foi resumido na famosa frase de *Joseph Juran*: "O século XXI será o século da qualidade, depois do século XX ter sido o da produtividade".

3.3 Algumas das principais Metodologias de Qualidade

Um dos focos da revisão bibliográfica neste caso é distinguir as principais diferenças de escopo e aplicação de algumas metodologias de qualidade, como TQM, Seis Sigma, TPM e Sistemas de Gestão (como ISO). Tanto na graduação como na experiência prática, percebe-se que as pessoas sabem lidar com as ferramentas específicas de cada uma e aplicá-las, mas poucos distinguem claramente estas várias metodologias, suas especificidades e, principalmente, em que ocasiões aplicar cada uma. Existem inúmeras outras metodologias de resolução de problema, se não uma por bibliografia referente à qualidade, mas estas quatro serão abordadas como as mais conhecidas e difundidas atualmente. As metodologias JIT e Gerenciamento por Processos também são importantíssimas, mas desconsideradas no caso (redução de refugo), visto que o foco está no fluxo de materiais e no macro-processo.

TPM (Total Productive Maintenance)

Nakajima (1989) classifica o TPM como “um novo estágio da manutenção industrial”, considerando:

- Estágio 1) Manutenção corretiva (*breakdown maintenance*)
- Estágio 2) Manutenção preferencialmente preventiva
- Estágio 3) Manutenção do sistema de produção (corretiva e preventiva)
- Estágio 4, o **TPM**) Manutenção preditiva; participação de outros setores da empresa; envolvimento de toda a hierarquia; mecanismo de motivação através do trabalho em grupo; aproveitamento econômico de máquinas, equipamentos e instalações.

Segundo Nakajima (1989), “as máquinas complexas incorporadas de novas tecnologias exigirão pessoas dotadas de novos conhecimentos, necessário tanto para operação como para manutenção a um nível apropriado”, ou seja, o desenvolvimento humano é fundamental no TPM, considerado também pelo mesmo autor a “integração total do homem vs. máquina vs. empresa”. O foco do programa é a Manutenção, argumentando que “parte significativa dos problemas do sistema de manufatura pode ser eliminada simplesmente com uma boa Manutenção”. Embora a manutenção esteja mais relacionado com a produtividade, no TPM a relação com a qualidade possui a mesma ênfase, no conceito de “qualidade é construída no próprio processo” (Miyake, 1993).

O TPM tem um indicador chave conhecido por OEE (Overall Equipment Effectiveness) ou IDG (Índice de Desempenho Global). Ele é calculado considerando-se três indicadores:

- Disponibilidade de Máquina: Porcentagem de tempo que a máquina efetivamente roda comparando com o seu tempo teórico de funcionamento (envolve quebras, reparos, ajustes e set-ups).
- Eficiência: Índice de eficiência da máquina considerando a velocidade que ela roda em comparação com sua velocidade técnica (envolve pequenas paradas e velocidade efetiva).
- Índice de Qualidade: porcentagem de peças conformes (envolve refugo e problemas de início de produção).

Multiplicando-se estes três indicadores tem-se o OEE do equipamento (%), que pode ser visto como o quanto a máquina atualmente produz dividido por o quanto ela poderia produzir.

A implantação do TPM é baseada em Pilares e no caso deste trabalho seria aberto um projeto pelo *Pilar de Melhoria Específica (ME)*, tratando de perda por refugo, por exemplo. O Pilar Manutenção Autônoma também é fundamental (quase requisito) na implantação do Pilar ME.

TQM (Total Quality Management)

Publicado por Feigenbaum em 1956, o TQM “é um sistema eficaz para a integração de esforços de desenvolvimento da qualidade, manutenção da qualidade e melhoria da qualidade dos vários grupos dentro de uma organização, de tal modo a tornar marketing, engenharia, produção e assistência técnica capazes de proporcionar a plena satisfação do cliente, nos níveis mais econômicos” (Feigenbaum, 1983). Isto é, preconiza a integração horizontal das funções e a integração vertical dos níveis hierárquicos, atribuindo responsabilidades pela qualidade e coordenando as ligações entre as mesmas (Ishikawa, 1985 apud Miyake, 1993).

Na questão da estrutura organizacional, a implantação do TQC institui um Comitê Diretivo e um órgão vinculado a este que seria responsável pela difusão do sistema na organização. Segundo Miyake, 1993, uma das maiores preocupações é a qualidade do processo gerencial em si, com a adoção de instrumentos de gestão próprios. Os principais instrumentos seriam:

- Gerenciamento Inter-Departamental de Funções (integração sem seccionalismo)
- Gerenciamento por Política (participação da direção, processo top-down)
- Auditoria do CQ
- Participação nos mecanismos de motivação e recursos humanos

O processo de melhoria é baseado no PDCA, ou seja, uma melhoria contínua. Os mecanismos e instrumentos próprios operacionais do CQ são:

- Círculos de Controle da Qualidade (PDCA)
- Sistema de Gestão (incentivos, responsabilidades, processos, etc.)
- Time ou Força-Tarefa do CQ (Melhorias Específicas)
- QC Story (roteiro para resolução de problemas do local de trabalho)
- Sete Antigas e Sete Novas Ferramentas do Controle da Qualidade
- Ferramentas de Melhoria da Qualidade no Projeto

Assim a filosofia TQC pressupõe um novo estilo de gestão para os dirigentes e delega à chefia e aos trabalhadores novos papéis nas operações, buscando sempre o desenvolvimento pessoal.

Sistemas de Gestão (Normalização)

A gestão da qualidade passou a ser muito reconhecida e valorizada, internamente e externamente, pelos clientes; e se tornou atrativo provar que uma organização respeita um determinado sistema de gestão.

Hoje existem incontáveis tipos de certificações de qualidade, controladas por órgãos como a ISO e ABNT. Em geral, não são obrigatórias, mas o próprio mercado em muitos casos obriga a certificação, pelos principais motivos a seguir:

- Exigência dos Clientes
- Exigência do mercado externo para exportação
- Maior formalização do Sistema de Qualidade
- Exigências governamentais (também para redução de impostos)
- Ordem da Matriz
- Concorrência certificada
- Marketing

Fonte: José Joaquim Ferreira, aula ISO 9001:2000. EPUSP 2007.

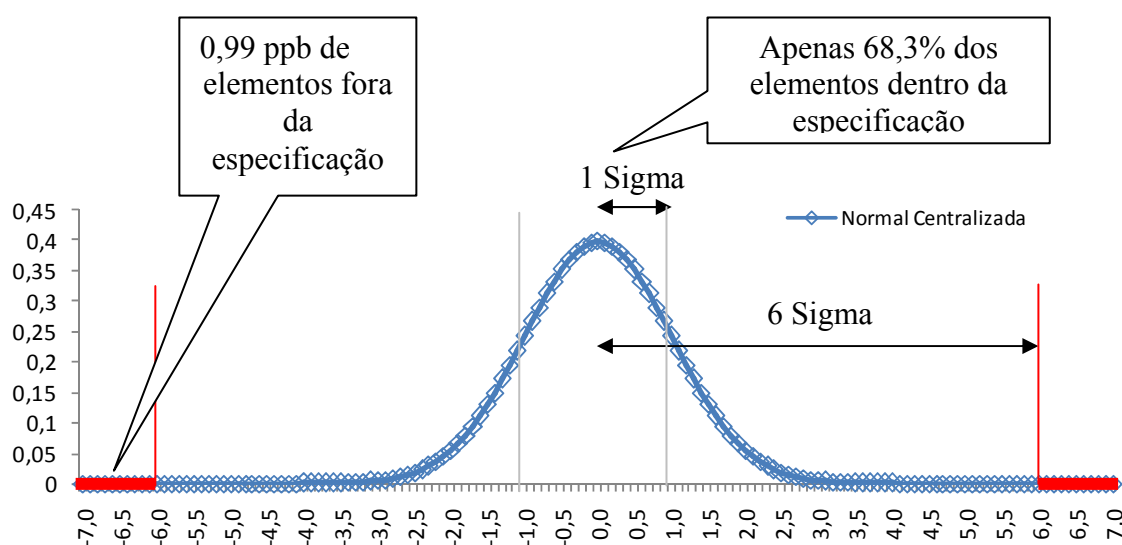
A certificação visa aumentar a satisfação e a confiança dos clientes, reduzir custos internos, aumentar a produtividade, melhorar a imagem e os processos continuamente e possibilitar fácil acesso a novos mercados. Esta certificação permite avaliar as conformidades determinadas pela organização através de processos internos, garantindo ao cliente um produto ou serviço concebido conforme padrões, procedimentos e normas.

Entre modelos existentes de sistema da qualidade, destacam-se as normas da série ISO 9000. Estas se aplicam a qualquer negócio, independentemente do seu tipo ou dimensão. As normas desta série possuem requisitos fundamentais para a obtenção da qualidade dos processos empresariais.

3.4 Seis Sigma

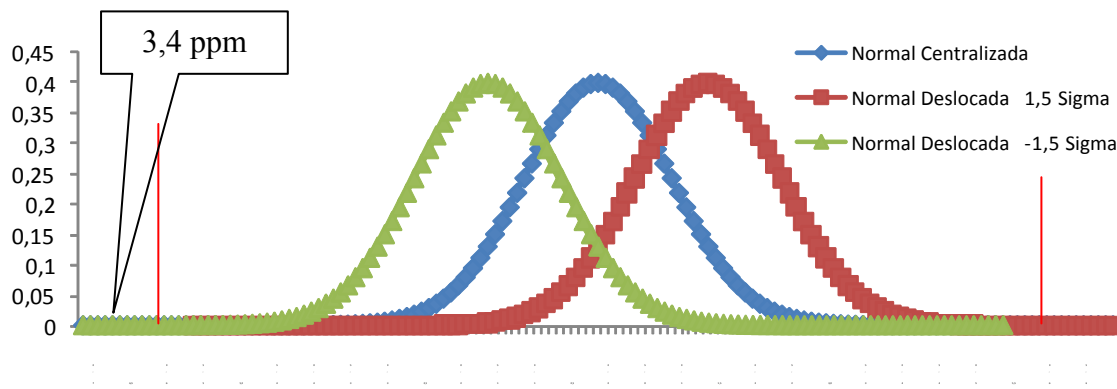
A terminologia Seis Sigma vem da representação estatística de nível de variabilidade de um processo, ou adequação do processo a uma especificação. O Sigma é a letra utilizada para representar o desvio padrão de uma distribuição e, quanto menor for o desvio padrão de um processo, mais desvios padrões passam a ser aceitos dentro da especificação. Veja na figura (em escala):

Figura 3.2: Normal Centralizada com limites de especificação. Elaborada pelo autor.



Estatisticamente estaríamos lidando então com uma parcela de apenas duas partes por bilhão fora da especificação, ou seja, a cada um bilhão de operações executadas, duas dariam errado. Em contrapartida a metodologia validou empiricamente que um processo não necessariamente está centralizado e comumente sua média varia 1,5 sigma para ambos os lados.

Figura 3.3: Normal Deslocada com limites de especificação. Elaborada pelo autor.



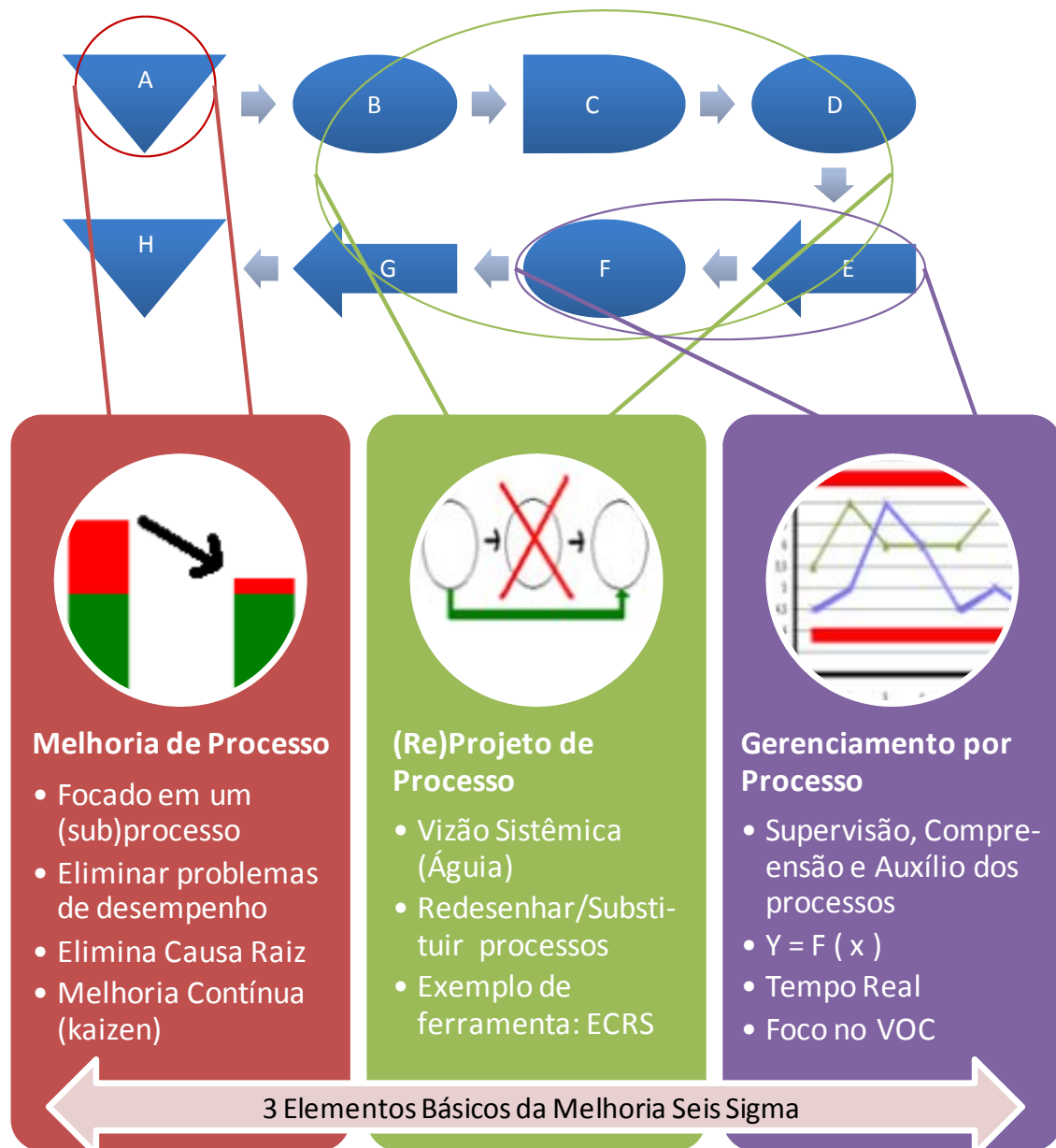
Com esse conceito é possível recalcular a proporção de partes que estariam fora da especificação de acordo com o gráfico acima. Assim a expressão Seis Sigma representa, na verdade, uma eficácia de 99,999966% em qualquer processo, ou 3,4 erros por milhão.

Não necessariamente é preciso chegar a um nível de não conformidade seis sigma, sua aplicação contínua é que torna o seis sigma uma consequência. (Pande et al, 2001)

O Seis Sigma (ou Estratégia Seis Sigma) é considerado um sistema de gestão, focado totalmente na vontade do cliente, comportando-se como uma forma de mudança da cultura organizacional. Esta filosofia vai muito além do setor de qualidade, abrangendo todas as áreas de uma organização, desde as mais técnicas (industriais) às mais qualitativas (serviços). Seus objetivos são inúmeros, de uma forma ou outra refletidos na lucratividade de qualquer negócio. Desde a empreendedora Motorola, outros diversos casos de sucesso de implantação do sistema foram publicados, vários com economias consideráveis divulgadas publicamente, na ordem de milhões ou até bilhões de dólares por ano, como a GE.

Pande separa em três os elementos de melhoria Seis Sigma: A Melhoria do Processo, o (Re)Projeto do Processo e o Gerenciamento por Processo. O esquema abaixo resume as formas de atuação do Seis Sigma em um processo.

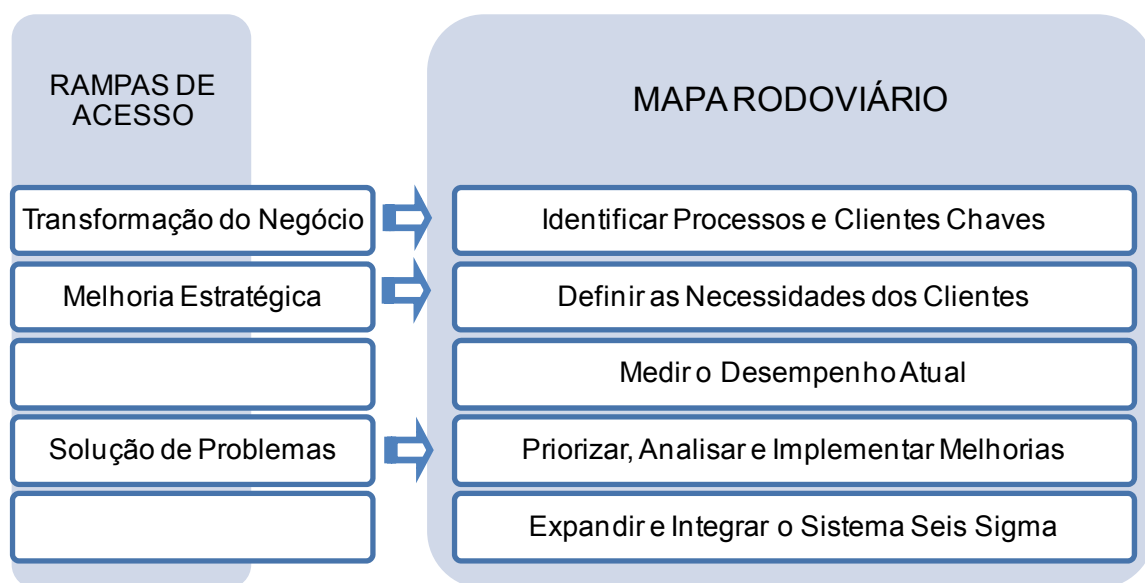
Figura 3.4: Elementos de Melhoria Seis Sigma. Elaborado pelo autor.



O Seis Sigma engloba Ferramentas Básicas e Avançadas da Qualidade, aplicando-as com um senso crítico forte da necessidade de cada uma, para evitar desperdícios e decepções. Segundo Stamatis (2004), o Projeto Seis Sigma é sempre representado na forma $y=f(x)$, ou seja, sempre há fatores 'x' que influenciam nas saídas 'y', e o objetivo é saber com quais 'x' lidar e como otimizá-los.

O início da implantação dos esforços Seis Sigma possui três meios distintos, chamados de Rampas de Acesso (Pande et al, 2001), são elas: Transformação de Negócio; Melhoria Estratégica e Solução de Problemas. Cada Rampa de Acesso está associada a um passo do Mapa Rodoviário, de acordo com o esquema abaixo:

Figura 3.5: Mapa Rodoviário com respectivas Rampas de Acesso. Adaptado de Pande et al, 2001



Vemos então que o sistema de gestão abrangente pode começar com diferentes focos, desde o mais amplo ao mais focado. Cada diferente rampa de acesso possui pontos fortes e fracos:

- Transformação do Negócio: Uma mudança importante em como a organização funciona (mudança de cultura);
- Melhoria Estratégica: Fraquezas ou Oportunidades Estratégicas Fundamentais;
- Solução de Problemas: Determina áreas específicas de altos custos, retrabalhos ou atrasos.

Fonte: Extraído de Pande, Neuman e Cavanagh, 2001.

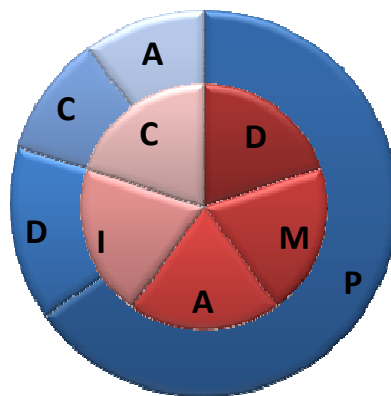
Ou seja, o Seis Sigma pode ser adotado por uma organização começando desde o cume da alta administração, como uma transformação de negócio, ou começando por algumas melhorias específicas (projetos pilotos). “As empresas estão tentadas a querer as três opções, mas devem decidir por onde começar” (Pande et al, 2001).

3.4.1 Metodologia DMAIC

O Seis Sigma disponibiliza uma moldura que utiliza uma ampla caixa de ferramentas com uma robusta estrutura de gerenciamento. Esse roteiro de metodologia de resolução de problemas é conhecido como DMAIC, das iniciais Definir, Medir, Analisar, Implementar e Controlar, respectivamente.

Esta e muitas outras metodologias de resolução de problemas são baseadas na mesma lógica do ciclo PDCA (Planeje, Execute, Verifique, Ações), introduzido por W. Edwards Deming. A figura abaixo mostra como ambos estão relacionados e como, de certa forma, o DMAIC refina o PDCA, organizando melhor as etapas:

Figura 3.6: Ralação PDCA - DMAIC. Fonte: Werkema (2004)

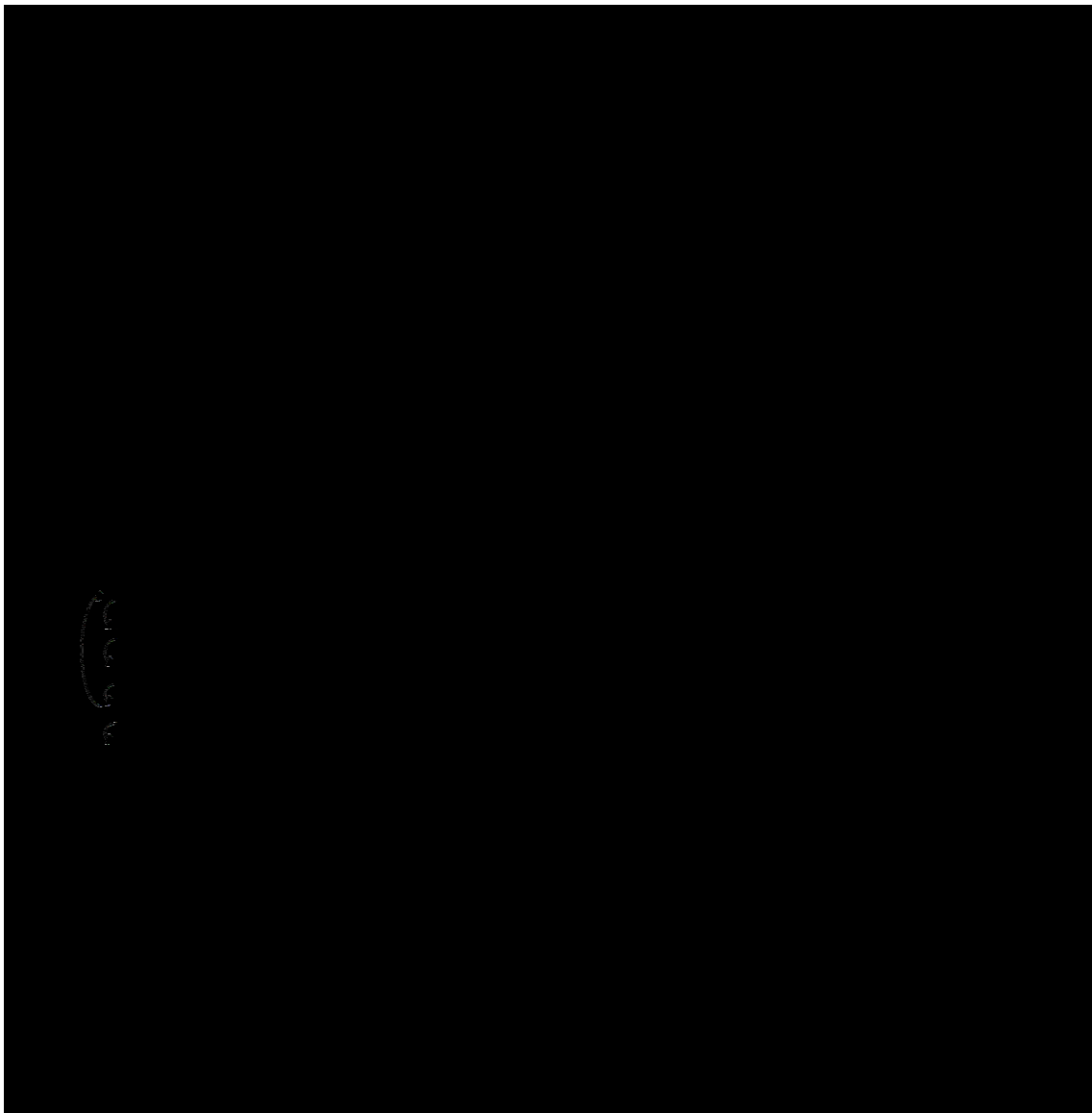


O DMAIC conhecido hoje já é uma adaptação do originalmente desenvolvido no Seis Sigma. De acordo com Stamatis (2001), os três roteiros principais foram:

- Os 6 Passos do Seis Sigma – Desenvolvido na Motorola
- MAIC – Publicado pela Seis Sigma Academy
- DMAIC – Desenvolvido na General Eletric

As entrelinhas do roteiro DMAIC são ainda muito variadas entre as bibliografias, das mais abrangentes às mais específicas. De qualquer forma, é importante que se mantenha uma abrangência em um roteiro para que este possa ser aplicado a qualquer tipo de problema ou oportunidade, não se restringindo às especificações, como um projeto fabril extremamente quantitativo, por exemplo. Para o desenvolvimento do roteiro neste trabalho serão utilizadas duas fontes, considerando os passos e as ferramentas disponíveis, segundo Pande et al (2001) e Rotondaro et al (2002), respectivamente:

Tabela 3-1: Passos e Ferramentas do DMAIC

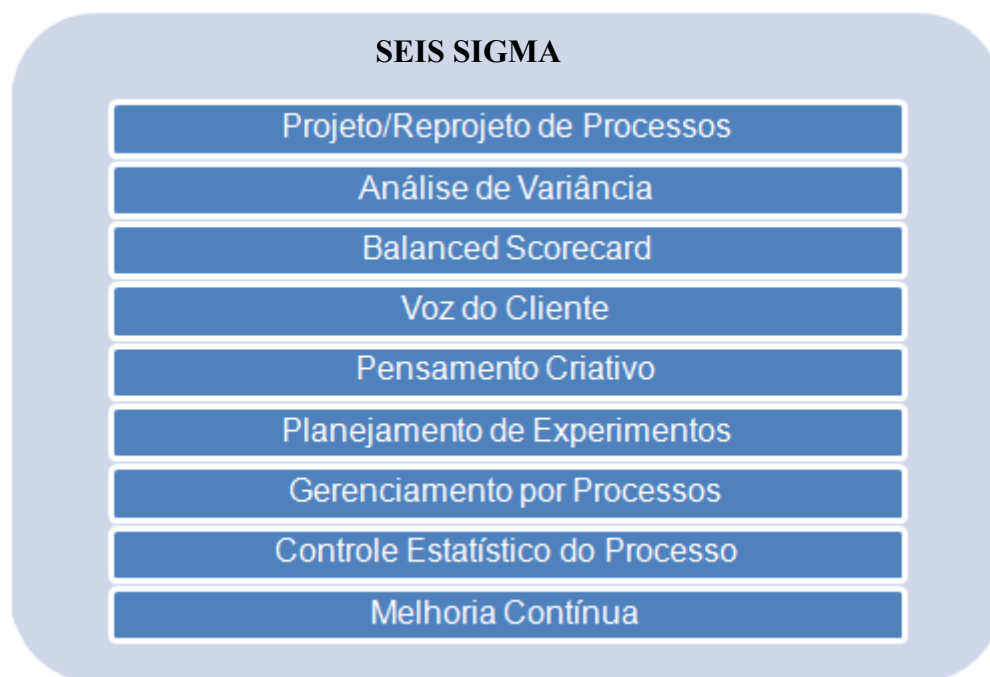


Diretrizes para utilização de ferramentas (Pande et al, 2001):

- Tenha um objetivo claro sempre que você decidir usar uma ferramenta, não a use só porque “está no livro” ou “ainda não foi usada”;
- Considere as suas opções e selecione a técnica que satisfaça suas necessidades;
- Não complique, adeque o detalhe e a complexidade da ferramenta à situação;
- Adapte o método às suas necessidades;
- Se uma ferramenta não estiver funcionando, pare.

É possível ver na Tabela 3.1 que nenhuma ferramenta do Seis Sigma é singular a apenas esta metodologia. “Como a maioria das grandes invenções o Seis Sigma não é totalmente novo” (Pande et al, 2001). Ou “Nada se cria, nada se destrói, tudo se transforma” (Lavoisier). Ou seja, o DMAIC apenas organiza a caixa de ferramentas de uma forma mais propícia. Os principais métodos e ferramentas que o Seis Sigma se baseia são:

Figura 3.7: Métodos e Ferramentas essenciais do Seis Sigma. Fonte: Pande et al, 2001



“O bom senso é o menos comum dos sentidos”, cita Pande (2001) dissertando sobre como a simples aplicação do que já é sabido, mas de uma forma mais organizada, faz realmente a diferença.

3.5 Algumas Ferramentas Específicas

Nesta seção serão levantadas teorias sobre: CEP, DOE, e outras ferramentas básicas da qualidade.

3.5.1 CEP

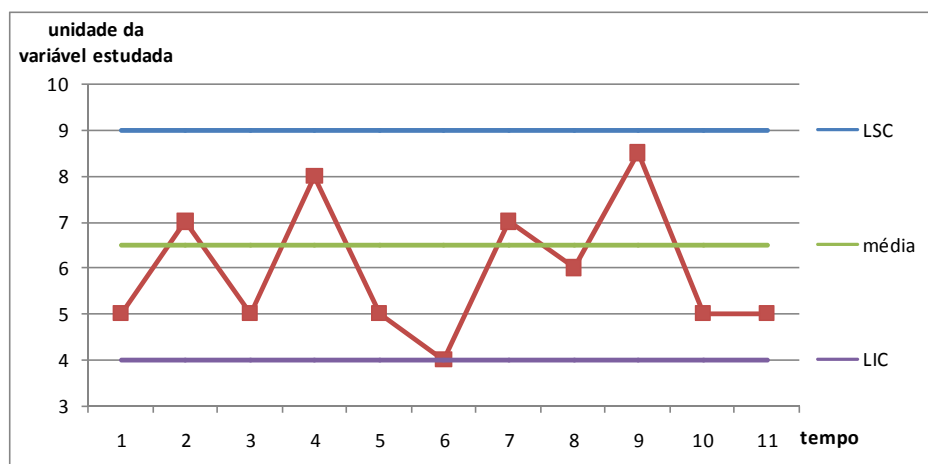
O Controle Estatístico de Processo é uma ferramenta de Controle da Qualidade baseada na plotagem de gráficos de controle que permitem de forma simples e eficaz manter o controle de variáveis desejadas. Essa metodologia foi desenvolvida por Shewhart na década de 1920 e se propagou na segunda Guerra Mundial, principalmente no Japão.

É difícil definir todos os objetivos ou especificar todos os aspectos relacionados à metodologia, pois a cada dia surgem novas aplicações, demonstrando sua versatilidade e importância no aumento da produtividade.

Muitos executores do CEP ainda o subestimam ou o comparam com uma simples ferramenta burocrática de registro de variáveis da produção, mas a sua verdadeira intenção vai muito além, priorizando o controle como forma de previsão de anomalias em tempo real.

Segue abaixo um exemplo clássico de um gráfico de controle, para melhor compreensão:

Figura 3.8: Exemplo de gráfico de controle

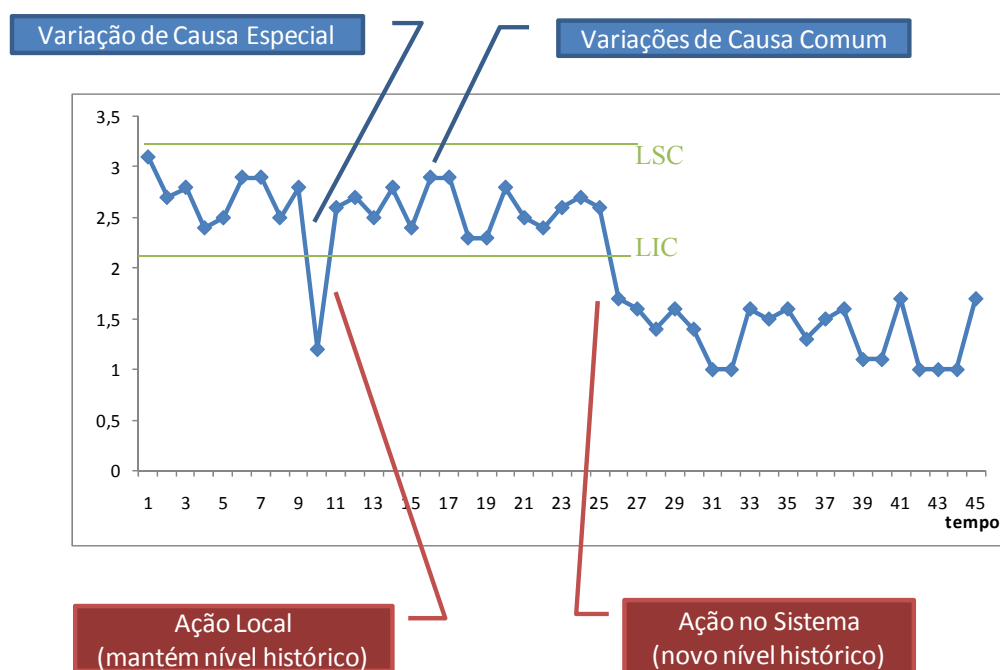


A cada amostra tirada do processo plotamos um ponto no gráfico de controle, que permite visualizar se o processo se mantém dentro do controle e se há existência de tendências. Entende-se com “processo controlado” um processo entre seus limites inferior (LIC) e superior (LIC) de controle, livre de **causas especiais**, que varia apenas com as **causas comuns** do processo.

3.5.1.1 Fundamentos do CEP: Causas Comuns e Causas Especiais

Qualquer processo sofre variações. Grande parte dos esforços de qualidade é destinada a mitigação destas variações, outra parte deve garantir a centralização do processo, pois não adianta ter um processo que não varia sendo que todos estão desconformes. Nesta linha de pensamento, temos dois tipos de variações: as de causa comuns e as de causa especiais. As primeiras são variações de difícil compreensão da origem, de difícil entendimento humano ou até variações tecnológicas, que só seriam superadas com a mudança da concepção do projeto. Essas variações são consideradas comuns e de certa forma “aceitas” no processo, temos de aprender a conviver com elas. Já as variações de causas especiais são esporádicas, imprevisíveis e afetam o processo significativamente.

Figura 3.9: Causas Comuns e Especiais. Adaptado de Ramos (2000)



O conceito de causa especial e causa comum está intimamente relacionado com o tipo de intervenção que o processo necessita. Para cada tipo de variação existem diferentes tipos de ações a serem tomadas, sob responsabilidade de diferentes atores do processo. Para tratar de um evento de causa específica faz-se necessária uma ação local, fazendo a rastreabilidade da causa mitigando-a. Os operadores de um processo, por exemplo, podem ser os responsáveis por uma ação local. Já variações de causa especial são mais complexas e de abrangência maior, sendo necessário algum projeto ou re-concepção de parte do processo, envolvendo necessariamente a gerência. A figura acima ilustra os tipos de causas e ações.

3.5.2 Medindo a Capacidade do Processo

Os índices de capacidade mostram o quanto um processo está de acordo com a sua especificação, seja no quesito centralização ou na dispersão. Cabe ressaltar que, diferente do *limites de controle* vistos no CEP, estamos lidando agora com *limites de especificação*, sendo os primeiros uma característica do processo e o segundo um parâmetro imposto pelo cliente.

- **CP**: índice definido como a razão entre tolerância e a dispersão total do processo (Ramos, 2000)

— — ou, no caso de desconhecido: — —

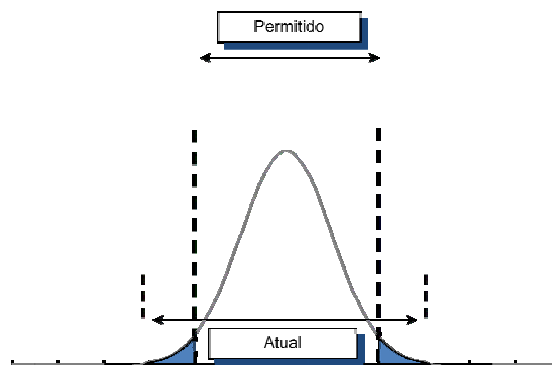
- **CPK**: índice definido como o menor valor entre Cpi e Cps (Ramos, 2000).

— — e — — ou seja, — —

Os valores das variáveis podem ser conferidas no anexo A em Ramos (2000).

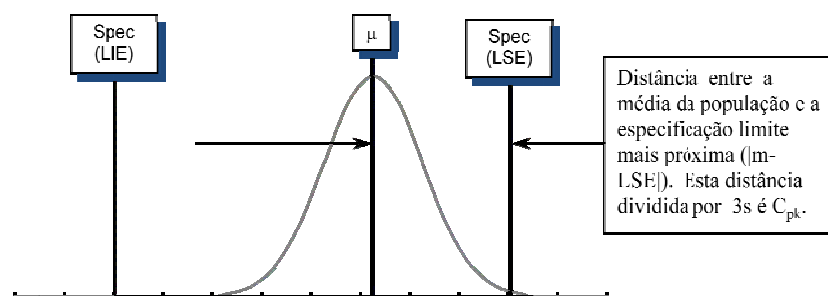
Visualmente é muito mais simples avaliar a capacidade do processo:

Figura 3.10: Ilustração gráfica do índice Cp



Se a distribuição do processo “cabe” dentro da especificação (permitido), o $C_p > 1$ (considerado bom).

Figura 3.11: Ilustração gráfica do índice Cpk

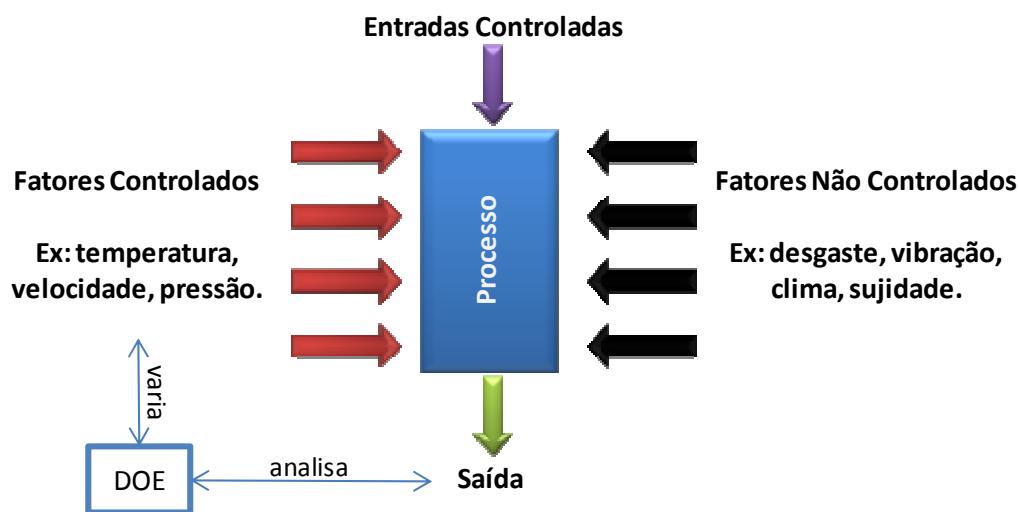


Se a média está suficientemente centralizada entre os dois limites de especificação, o $C_{pk} > 1$ (considerado bom).

3.5.3 DOE

O Delineamento de Experimentos é uma metodologia para melhor conhecimento e aperfeiçoamento de um processo. Ele é baseado em experimentos em que se vão variando parâmetros do processo propositalmente, analisando suas saídas (ver figura abaixo).

Figura 3.12: Relação do DOE no processo. Elaborado pelo autor.



Principais objetivos do DOE (Ramos, 2001):

- Determinar os fatores controláveis que mais influem no processo;
- Determinar os valores que esses fatores deveriam assumir. Esses valores podem ser determinados de acordo com vários fins: adequar ao valor nominal, diminuir variabilidade na saída, mitigar fatores não controláveis e tornar o processo eficaz e eficiente.

Sua implantação ocorre de acordo com um PDCA, planejando quais experimentos fazer, executando-os, analisando os resultados e agindo sobre os fatores controláveis. Deve-se lembrar que o PDCA, por definição, é um ciclo, considerado uma metodologia de melhoria contínua.

O DOE possui algumas definições básicas, a saber:

- Fator: é um fator controlável (quantitativo ou qualitativo)
- Nível do fator: Cada fator possui no mínimo dois níveis, isto é, a quantidade de diferentes valores que um fator pode assumir.

Um nível de fator atribuído a um fator é chamado de tratamento. Assim, em cada experimento temos um ou mais tratamentos que estão sendo analisados.

Existem diversos tipos de DOE, variando principalmente de acordo com a quantidade de fatores, quantidade de níveis, existência de perturbações e da aleatoriedade dos níveis ou não. Os tipos mais comuns de DOE podem ser vistos em Calegare (2001, pag. 32). O DOE é baseado na metodologia dos Testes de Hipóteses, detalhado a seguir.

3.5.4 Testes de Hipóteses e Análise de Variância

Os testes de hipótese são análises estatísticas de dados que podem comprovar ou não uma hipótese desenvolvida. Existem diversos tipos de testes de hipóteses, comparando diversos parâmetros, como médias, variâncias, proporções, etc. Para exemplificar será tratado o caso de hipótese de igualdade ou não de várias médias.

O teste de hipótese é desenvolvido segundo o seguinte raciocínio:

- H_0 (hipótese nula): todas as médias dos níveis são iguais ($\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_a$)
- H_1 (hipótese alternativa): pelo menos uma das médias é diferente. ($\mu_k = \mu_w$; k e w são 2 tratamentos quaisquer entre os a existentes)

A principal técnica para resolução deste problema é a *Análise de Variância*, desenvolvida por R. A. Fisher, um método poderoso para identificar diferenças entre as médias populacionais, havendo uma ou mais causas ou fontes de variação (Costa Neto, P. L. O. 2002).

Para aceitar H_0 , temos que provar que a variância “entre os tratamentos” (S_e^2) e “dentro dos tratamentos” (S_r^2) é a mesma, que é a própria variância do processo. Para aceitarmos H_1 temos que provar que a variância “entre os tratamentos” é maior que a variância “dentro dos tratamentos” (considerada a variância do processo). Para tal decisão será efetuado o teste “F” de Snedecor.

A variável “F” de Snedecor é calculada por S_e^2 / S_r^2 , chamada de F_{calc} . Comparando este valor com F_{crit} , tabelado de acordo com a significância e os graus de liberdade do problema, sabemos a resposta do teste de hipótese.

Para a resolução computacional do teste de hipótese usa-se a tabela encontrada no ANEXO 3. Existem também duas classificações chamadas de *Modelo de Efeitos Fixos* e o *Modelo de Efeitos Aleatórios*. No primeiro caso podemos ter qualquer número diferente de tratamentos,

sendo estes pré-estabelecido. Neste caso, os resultados só respondem aos níveis estabelecidos, não podendo ser extrapolados a diferentes tratamentos. Por exemplo, se são testados os tratamentos u , w e z , os resultados só podem ser aplicados aos mesmos u , w e z , não podendo ser extrapolado para um tratamento hipotético y , supondo que y fosse um intermediário entre w e z . Para estes casos de extrapolação de tratamentos, seria necessário usar o modelo de efeitos aleatórios, sorteando os tratamentos antes da coleta de dados.

3.5.5 Algumas Ferramentas Básicas da Qualidade

Método KJ (ou Diagrama de Afinidades)

Iniciais do seu criador, Jiro Kawakita, em 1951, o método serve para esclarecer a natureza, a forma e a extensão dos problemas, agrupando idéias ou opiniões sob a forma de informações verbais, segundo similaridade (Ramos, 2006), ou seja, funciona como uma racionalização de dados não numéricos. Quando apenas dispomos de informações verbais, temos que usá-las de alguma forma para chegar a uma conclusão ou proposta de ação.

Segundo Bouer (2006) sua principal aplicação é quando os dados e opiniões se apresentam em “uma situação de grande desordem” tornando impossível, à primeira vista, a tarefa de agrupamento/ classificação. Sua aplicação é muito simples, seguindo os passos abaixo:

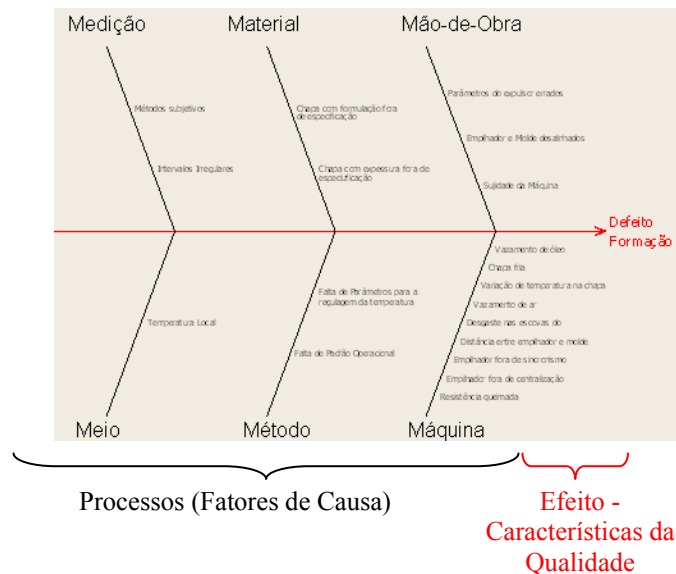
- Escrever informações / idéias / opiniões em fichas separadas;
- Separação das fichas por afinidade;
- Rotulação das fichas de acordo com seus subgrupos identificados;
- Análise intra grupos, acrescentando outras possíveis idéias;
- Análise entre grupos, estabelecendo relações.

O raciocínio por trás do método é partir de muitas informações “micro” e desestruturadas, para grupos “macros” que, melhor organizados, conseguem ter uma visão mais clara e estruturada dos micros novamente.

Diagrama Causa Efeito (Ishikawa)

Ferramenta utilizada para relacionar um efeito a diversos fatores (causas). Segundo Braz; Rotondaro et al (2002), o diagrama é útil para o levantamento e a apresentação visual de um problema e suas possíveis causas. “É empregado nas sessões de brainstorming realizadas nos trabalhos de grupo” (Werkema, 2004).

Figura 3.13: Modelo de diagrama causa-efeito



A técnica mais comum de se separar os ramos principais é a chamada 6M:

- Máquina (exemplo: vibração)
- Método (exemplo: não existe padrão, ou “ensinaram errado”)
- Mão-de-obra (exemplo: existe o padrão, mas é desobedecido)
- Medição (exemplo: aprovar uma peça não conforme)
- Material (exemplo: a bobina está com umidade fora do especificado)
- Meio (exemplo: utilidades, temperatura, umidade)

“Política, governo e educação são todos processos. Enquanto houver causas e efeitos, ou fatores e características, todos eles podem ser processos” (Ishikawa, 1985, pag.63, tradução nossa).

3.6 Métodos Escolhidos

A necessidade de um roteiro para tratar o problema de refugo em questão é indiscutível. Várias bibliografias estudadas citam que não existe uma “receita” para resolução de um problema, existem formas de resolução sistemáticas que auxiliam sua resolução. O problema é lidar com uma gama grande de roteiros possíveis, cada um deles ligado a uma abordagem metodológica, como os citados na revisão bibliográfica. Todos eles se baseiam no desenvolvimento dos recursos humanos e adotam a melhoria contínua em algum modelo baseado no PDCA (Miyake, 1993).

Seguindo o raciocínio e ordem da revisão bibliográfica, será feita uma breve argumentação sobre o uso ou não uso das metodologias citadas.

TPM

No caso do TPM, o problema seria tratado segundo as diretrizes do Pilar da Qualidade Contínua e do Pilar de Melhoria Específica, reduzindo a perda de refugos. Segundo Miyake (1993), o foco é a documentação, análise raiz dos problemas, correção e prevenção dos mesmos. De certa forma este macro roteiro está embutido também nos outros programas de melhoria da qualidade citados, mas este foca basicamente na manutenção, desvirtuando-se do problema externo à máquina. Outro problema do TPM é a escassez de roteiros específicos para resolução do problema, encontrado apenas em Susuki (1994), e a não abrangência de ferramentas estatísticas mais avançadas, como ANOVA, CEP e DOE. Os roteiros de implantação do TPM também são muito focados no departamento de manutenção, o que não é um fator positivo neste caso, que a principal relação e acesso é com o departamento da qualidade.

Um fator que dificulta muito a implantação de um programa TPM é o mesmo “depende fundamentalmente do desenvolvimento dos recursos humanos e, portanto, requer pessoal com nível de educação compatível, o que no caso da mão-de-obra, torna-se um problema particularmente crítico em países como o Brasil, onde o acesso da população ao ensino é precário” (Miyake, 1993 apud Fleury e Humphrey, 1992). Este fator se aplica também ao TQM, que tem como fator crítico de sucesso o desenvolvimento dos recursos humanos também.

Sistema de Gestão Certificado

Falar sobre um sistema de gestão certificado, como ISO9000, não se aplica ao caso, pois a empresa já é certificada ISO9001:2000, o que restaria auditar se o sistema está implantado corretamente. Existe uma crítica forte aos sistemas de certificação, que focam na documentação e padronização de processos, deixando eventuais melhorias em segundo plano. “Em um ambiente certificado, uma vez que um processo é documentado e aprovado, é um inferno melhorá-lo” (Pande et al, 2001). Claro que idealmente, a padronização do processo é um ótimo caminho para aperfeiçoá-lo, mas a experiência mostra que tais casos são relativamente raros (Pande et al, 2001). Alguns fatores relacionados à ISO9001 podem ser vistos na fase do ‘Controle’ do DMAIC.

TQM

Como citado, foi entendido que o TQM possui roteiros menos específicos, mais abrangentes, na esfera gerencial principalmente. Muitas das vezes o TQM cita a necessidade de se abrir um projeto para a resolução do problema que suas ferramentas detectaram, mas não diz como. O TQM é uma boa base para implementação de esforços Seis Sigma (Pande, Neuman, Cavanagh, 2001). Nesta mesma referência existe um capítulo inteiro justificando o fracasso do TQM frente ao Seis Sigma.

Seis Sigma

O Seis Sigma está relacionado com análise estatística e metodologia de resolução do problema, enquanto o TQM e Gerenciamento por Processos possuem em sua estrutura os processos e sub-processos mapeados, mas não possuem uma estrutura formal para desenvolvimento de projetos.

Como ainda há uma necessidade grande de se entender melhor as características do problema, o DMAIC torna-se propício, dado o enfoque do roteiro no entendimento e análise do problema (Definição, Medição & Análise; vide figura 3.6). O Seis Sigma incorpora ferramentas das mais simples às mais avançadas, de acordo com a necessidade do problema, o que engloba de certa forma muitas das ferramentas do TQM e TPM.

O roteiro base para o desenvolvimento será baseado na tabela 3-1, que apresenta os passos segundo o livro *Estratégia Seis Sigma* (Pande et al, 2001). O livro segue um macro roteiro de implantação de um sistema de gestão Seis Sigma como um todo, desde sua concepção até as melhorias específicas de projetos. Neste caso estamos tratando de uma Melhoria de Processo, um dos elementos básicos da melhoria Seis Sigma, explicadas na figura 3.4. No Mapa Rodoviário, este certamente estaria localizado no quarto passo do Mapa (Priorizar, Analisar e Implementar Melhorias), sendo sua *Rampa de Acesso a Solução de Problemas* (ver figura 3.5). Como citado, existe essa possibilidade de uma organização começar seus esforços Seis Sigma pela *Rampa de Acesso Solução de Problemas*, ou seja, simplesmente atacar um problema isolado identificado, sem entrar no escopo de cultura organizacional ou estratégias de mercado. Esse fator também foi decisivo frente a outras metodologias que não deixam claro a possibilidade de aplicação imediata.

Assim será desenvolvido este roteiro DAMIC, demonstrando para a organização o potencial da metodologia e funcionando como um piloto para uma possível continuidade.

“As Ferramentas utilizadas e muitos dos métodos aplicados são conhecidos dos profissionais da qualidade, mas a estruturação do programa e o foco na redução da variabilidade do processo tornam o método Seis Sigma único e extremamente eficaz” (Rotondaro, 2002, p.18) Siqueira Campos também afirma que “ao formalizar-se o uso de ferramentas estatísticas de forma integrada, evita-se empregá-las isolada e individualmente em um caminho desconectado” (Pande, Neuman e Cavanagh, 1998).

Ao longo do desenvolvimento do roteiro, cada passo ou ferramenta terá respectivamente uma justificativa sobre a aplicabilidade ou não da mesma.

PARTE I INTRODUÇÃO

PARTE II DEFINIÇÃO DO TEMA

PARTE III REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

PARTE IV APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

PARTE V DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

4. RESOLUÇÃO DO PROBLEMA – DMAIC

No item 4 a seguir será descrita em cada subitem uma fase do DMAIC.

4.1 *D - Definição*

Neste caso alguns tópicos são desconsiderados nesta parte propedêutica da definição do projeto, como a parte de membros e diretrizes da equipe. Assim, restam alguns tópicos da Carta do Projeto listados abaixo:

4.1.1 *Carta de Projeto*

- **Descrição do Problema (o que)**

Redução de refugo por defeitos de formação nas máquinas de termoformagem (definido no item 2.2.2).

- **Meta (quanto)**

Ainda não foi estabelecida uma meta quantitativa, uma vez que o Gerente da Qualidade estaria satisfeito com qualquer redução do refugo em questão. “Se for cedo demais para estimar, deixe um espaço reservado para indicar onde você pretende adicionar o alvo mais tarde” Pande et al (2001), explica que é comum não possuir uma meta clara no início, e que esta depende muito do conhecimento que será adquirido do processo. Comumente metas não são atingidas por serem baseadas em estimativas e não em dados reais. Por enquanto este campo ficará em aberto.

- **Plano de desenvolvimento (quando)**

O prazo do projeto é dia 3 de novembro de 2008, coincidindo com a entrega do trabalho de formatura.

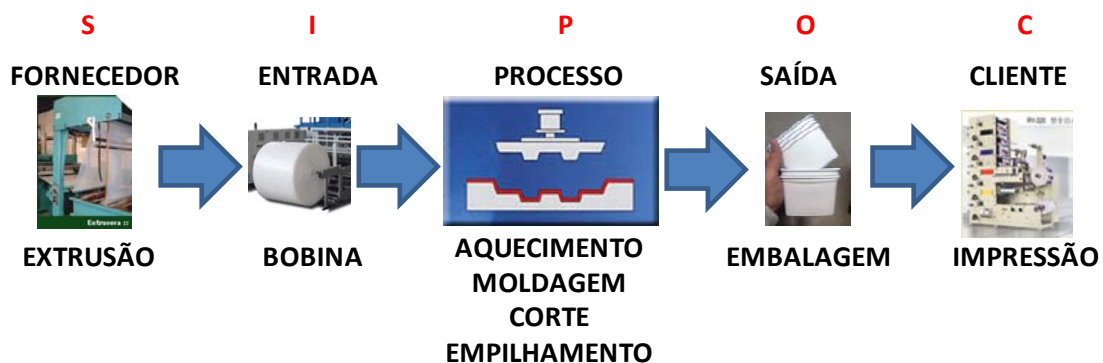
4.1.2 Voz do Cliente

A redução do refugo tem um objetivo na redução nos custos da produção, mas, principalmente, na redução do número de não conformidades e a conseqüente redução do número de reclamações de clientes. O patrocinador (sponsor) do projeto é o gerente da qualidade, cobrado principalmente pela não reclamação de clientes, logo reduzir o refugo é atender aos clientes internos e externos. A Voz do Cliente está traduzida nas especificações dos produtos.

4.1.3 Desenho do Processo

O macro processo de fabricação já foi explicado no item 2.1 (O Processo). Neste caso não é necessário o desenho do sub-processo termoformagem, pois este é praticamente todo automatizado, considerado indivisível. Para uma melhor compreensão deste processo para o leitor, ajudando a “montar o quebra-cabeça”, podemos utilizar a ferramenta SIPOC (Supplier, Input, Process, Output, Customer), feito de forma simplificada abaixo:

Figura 4.1: Modelo SIPOC. Elaborado pelo autor.



Esta ferramenta fornece ao leitor uma visão rápida do processo, esclarecendo o “quadro maior”, ao qual detalhes serão agregados (Pande et al, 2001).

4.1.4 Viabilidade

Uma análise de viabilidade de projeto deve ser separada em técnica e financeira. Normalmente as empresas fazem um profundo estudo de viabilidade e análise de risco para iniciar um projeto Seis Sigma, evitando desperdício de recursos; mas, neste caso, a viabilidade financeira do projeto é simples, dado que a empresa não está gastando nenhum recurso com o mesmo, pois o trabalho está sendo feito por alguém externo, sem custo algum. Logo, qualquer benefício do projeto o viabiliza, tornando desnecessária uma análise de riscos. A viabilidade técnica é respondida pela adequação do modelo proposto ao problema, como explicado no item ‘metodologia escolhida’.

Mesmo com o problema identificado, para abranger a seleção do projeto segundo a abordagem bibliográfica, será utilizada uma tabela proposta por Marly M. de Carvalho (Seis Sigma, pag. 52), mostrando as questões críticas para reflexão nas etapas da seleção do projeto.

Tabela 4-1- Tópicos para Seleção do Projeto. Fonte: Carvalho, Marly M. de. 2002.

Etapas	Questões	Respostas
Identificar as CTQs internas e externas	Quais são os critérios ganhadores de pedido?	O critério é a redução de Não Conformidades na Produção, para aumento de produtividade e redução de reclamações.
	A análise dos critérios competitivos está focada nos clientes preferenciais?	Sim. O SKU tratado na máquina é o principal produto da empresa, vendido para o maior e principal Cliente.
	Os processos críticos da organização foram mapeados?	Sim, vide item 2.2.1
	As CTQs têm um defeito identificável, sendo possível mensurar o impacto do projeto?	Sim, o refugo gerado é identificável.
Identificar lacunas de desempenho	Existe risco de perda de competitividade com os atuais níveis de desempenho?	Sim, o Cliente possui uma gestão das reclamações feitas sobre este processo. Mais reclamações perigam uma maior complicação com o Cliente.
	O desempenho atual apresenta uma lacuna significativa (gap) diante dos concorrentes?	Dado não disponível. Estima-se que, dada a utilização máxima da capacidade no processo, o desempenho torna-se um gap significativo.
	Nosso desempenho é pior que os dos concorrentes nas CTQs?	Dado não disponível.
Determinar se o escopo e a amplitude do projeto são gerenciáveis	O projeto tem apoio e recursos adequados proporcionado pelas partes interessadas (stakeholders)?	Sim, a gerência da qualidade apoia o projeto, com permissão do presidente da empresa.
	Os recursos disponíveis são suficientes para concluir com sucesso o projeto?	Sim
	Qual o horizonte de tempo necessário para a conclusão do projeto?	3 meses
	Existem muitas áreas envolvidas no projeto?	Em princípio apenas a área da qualidade, com acesso pequeno à manutenção e processos.
	Os "donos" dos processos envolvidos participam do projeto?	Os "donos" estão participando como colaboradores ou facilitadores.
	Existe duplicidade ou conflito com outros projetos da organização?	Não.
Determinar a viabilidade do projeto	Qual o risco de o projeto não obter a melhoria de desempenho planejada (viabilidade técnica)?	Risco médio, dado a dificuldade de acesso a máquinas de acordo com a produção. Ex: gargalo, atrasos de produção, quebras, custos.
	Os benefícios obtidos com o projeto são maiores que os custos (viabilidade econômica)?	Sim, em princípio não há custos no projeto, logo, qualquer melhoria viabiliza o processo.
	Existem recursos suficientes para financiar o projeto (viabilidade financeira)?	Sim, a empresa está com grandes investimentos em qualidade, implantando um modelo próximo ao TPM e focando na qualidade, vide ISO9001

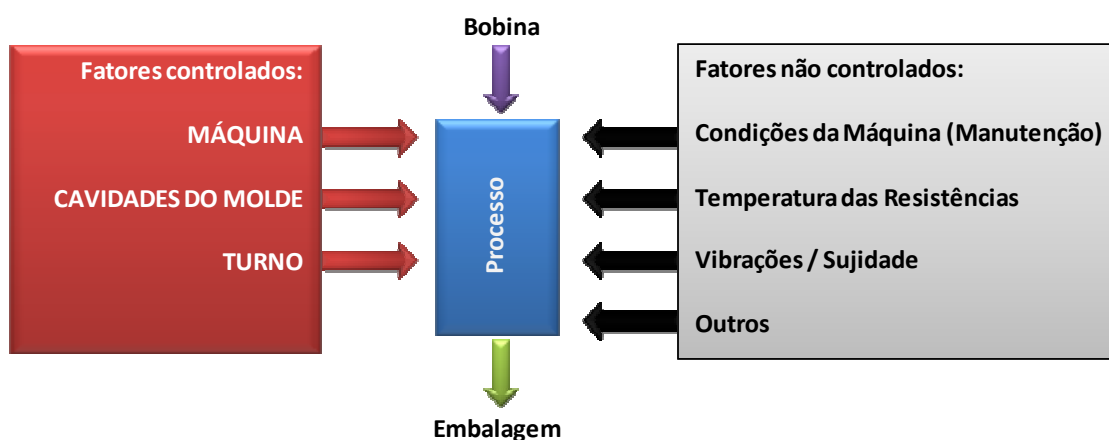
Sabemos que esta tabela não se aplica adequadamente a este trabalho, pois sua principal função é cessar a continuidade do projeto, dado algum requisito não atendido ou irremediável. Neste caso, o projeto seria desenvolvido de qualquer forma, pois a função do TF não é a mesma da metodologia Seis Sigma, com todos requisitos de pessoal, retorno financeiro, etc.

4.2 M - Medição

4.2.1 Variáveis envolvidas no problema

As principais variáveis envolvidas no processo são demonstradas no diagrama a seguir, seguindo o mesmo raciocínio do esquema na revisão bibliográfica:

Figura 4.2: Variáveis do processo. Elaborada pelo autor.



A medição (M do DMAIC) será baseada nos Fatores Controláveis, dado os registros e as possibilidades de interferência no processo. Os Fatores Não Controláveis serão apenas levantados na fase da Análise, procurando justificar as causas raiz caso os fatores controláveis não respondam devidamente o problema analisado. Uma das maneiras mais comuns de se fazer isto é transformando os fatores não controláveis em fatores controláveis, instalando um medidor de vibração, por exemplo.

Os três fatores controlados considerados acima serão considerados as variáveis de entrada no processo e, como variáveis de saída, temos que entender melhor quais são os testes realizados na embalagem.

O Processo da termoformagem possui os seguintes testes na totalidade:

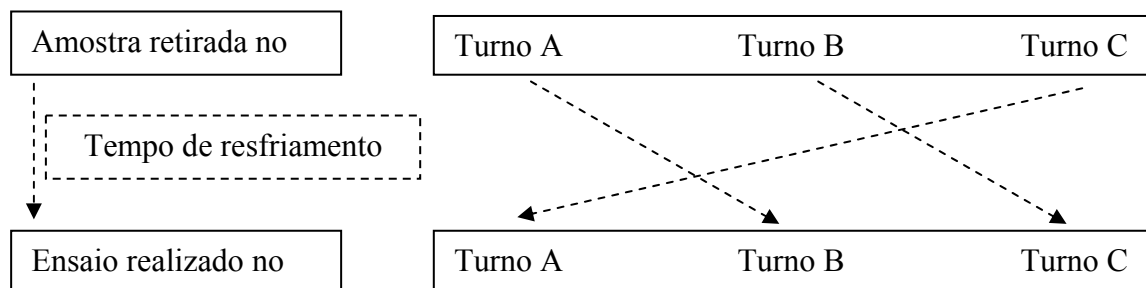
Figura 4.3: Testes realizados na termoformagem. Elaborado pelo autor.



Todas as variáveis dos testes quantitativos são contínuas e as dos testes qualitativos são por atributo (passa/não passa). Dentre os testes qualitativos, muitas vezes o defeito “mal formado” e “amassado” são confundidos, logo em algumas análises o defeito “amassado” será incluído dentro do defeito “mal formado”, para evitar que o confundimento dos operadores dificulte a análise das causas.

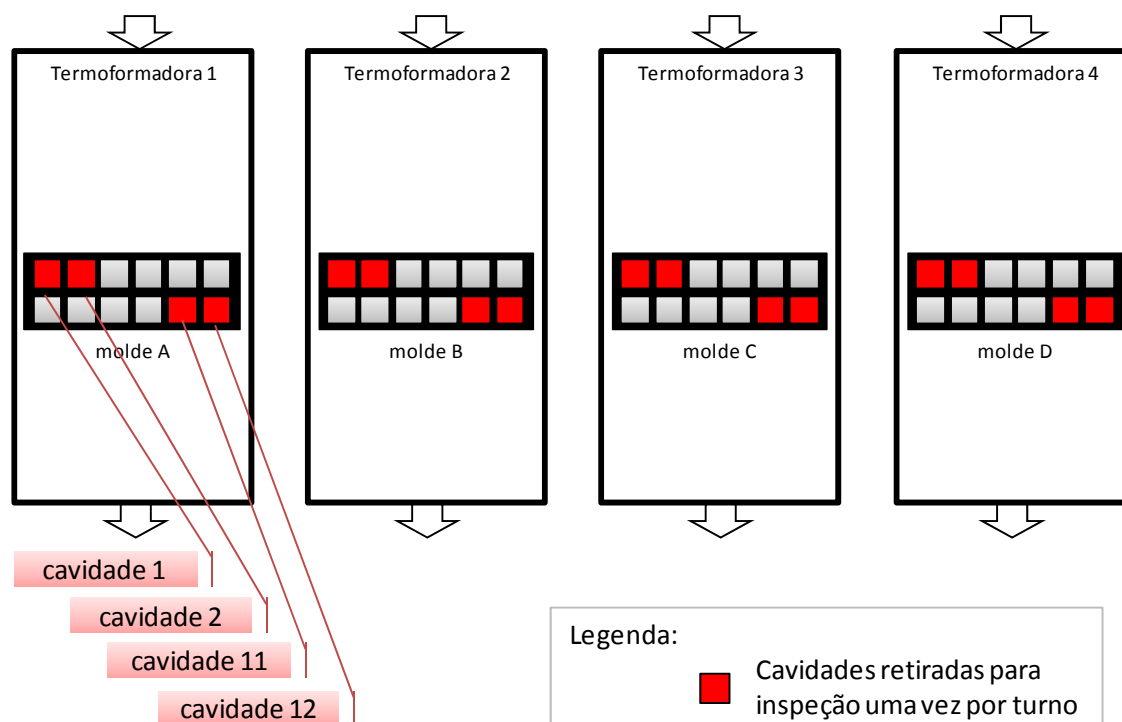
As retiradas de potes para ensaio são feitas uma vez por turno, sendo que o ensaio é feito sempre no turno posterior à retirada da amostra. Isso se deve pelo fato do pote precisar se resfriar para estabilizar suas características físicas, ficando assim em uma geladeira durante esse intervalo. O esquema de amostragem em cada turno é aleatório, uma amostragem casual simples feita pelo inspetor de cada turno. O inspetor retira, a cada amostragem, 4 potes da máquina ao mesmo tempo, sendo estes provindos de 4 diferentes cavidades do molde, já pré estabelecidas. Após a retirada o inspetor realiza os ensaios no laboratório e registra em uma ficha. Ver esquema abaixo.

Figura 4.4: Relação Amostragem - Realização dos Ensaios. Elaborado pelo autor.



No setor, atualmente, há quatro máquinas de termoformagem paralelas, cada uma com um molde, rodando três turnos por dia, sete dias por semana. Os moldes predominantes deste setor possuem doze cavidades, sendo que a cada batida da termoformadora doze embalagens são confeccionadas. A amostragem é feita uma vez por turno retirando potes de cavidades pré-estabelecidas, ilustradas no esquema abaixo:

Figura 4.5: Esquema máquinas/moldes/cavidades. Elaborado pelo autor.



Os moldes são totalmente intercambiáveis entre as máquinas, e as cavidades são intercambiáveis entre os moldes. A configuração no esquema acima é ilustrativa, mas uma

hora após, por exemplo, o molde C poderia estar na Termoformadora 1 e as cavidades 1 e 8 do molde B poderiam ter sido trocadas com as cavidades 3 e 7 do molde D.

Resumindo, a cada turno o inspetor retira quatro amostras de cada uma das quatro máquinas, sendo uma de cada cavidade indicada (1, 2, 11 e 12). São dezesseis amostras por turno que passam pelos ensaios quantitativos citados acima. Uma discussão com os atores do processo concluiu que a amostragem deveria manter-se da mesma forma, tanto para evitar problemas de mudança do processo, quanto para avaliar neste estudo a validade da amostragem atual.

4.2.2 Fonte de Dados

Os resultados destes ensaios eram antes registrados em arquivos isolados, como “fichas de ensaios do lote”, não sendo utilizados para nenhum tipo de análise entre lotes. Foi desenvolvido um sistema então para passar o registro da coleta de dados do sistema Microsoft Word para o Microsoft Excel, auxiliado por uma ferramenta VBA (Visual Basic for Applications). A nova ferramenta para preenchimento dos dados possui uma interface muito simples e ergonômica para os inspetores, além de facilitar muito a execução de relatórios gerenciais a qualquer momento, com a ferramenta “Tabela Dinâmica”, do Microsoft Excel. Além do novo sistema auxiliar os inspetores e a gerência, outro fator importante é a não permissão do sistema de se imputar dados errados, pois seu preenchimento é protegido (validado) com várias limitações, funcionando como um Poka-Yoke. Por exemplo, no campo dia, o inspetor deve digitar (ou selecionar) necessariamente um número inteiro no intervalo [1; 31], caso contrário o sistema alerta sobre o erro e não permite o fornecimento de dados inválidos. Essas limitações se aplicam a todos dados de entrada.

A interface visual do sistema pode ser vista no ANEXO 01.

Segue abaixo o modelo de tabela gerada para a medição das variáveis do projeto:

Tabela 4-2: Tabela de dados gerada no novo sistema de registro de ensaios. Elaborada pelo autor.

[illegible]

Essa tabela possibilitou a visualização de vários gráficos, podendo tirar algumas conclusões sobre o processo, a começar pelas médias e desvios padrões das amostras:

Tabela 4-3: Parâmetros estatísticos básicos de média e desvio padrão. Elaborado pelo autor.

	Altura (mm)	Peso (g)	Crush (Kgf/cm2)	Volume (ml)	Fechamento (Kgf/cm2)	Altura da aba (mm)
Média	81,2	15,3	18,2		3,1	3,1
Desv. Padrão	0,2	0,2	1,9		0,3	0,1

É importante advertir que os dados tirados acima são resultados da totalidade dos ensaios, independente de qualquer restrição, filtro ou estratificação, isto é, são dados de todas as máquinas, moldes, turnos e outras variáveis envolvidas ao mesmo tempo. Para entender melhor como será a análise do DMAIC temos que então entender as variáveis de entrada e saída do processo:

Figura 4.6: Variáveis controladas (x) e saídas (y) do processo: $Y=f(x)$. Elaborado pelo autor.



O problema ainda está de certa forma complexo de analisar, dado a grande possibilidade de inter-relações das variáveis. Teoricamente temos uma permutação $\binom{3}{1} + \binom{3}{2} + \binom{3}{3} = 7$ e temos 5 variáveis de saída, que resultam 35 análises possíveis (causas-efeito). Na prática, analisando as três variáveis controladas, não é possível admitir todas estas configurações diferentes, pois, mesmo sendo realmente controladas, estão sempre diretamente relacionadas, uma sempre está embutida em outra. Ou seja, não adianta analisar uma máquina isoladamente, pois ela está sujeita as variações do respectivo molde e operador, assim como os outros. Montgomery (2004, pag. 106) explica que na questão dos subgrupos racionais é normal se pegar a menor parte divisível do processo, minimizando a interferência de outros fatores escondidos nos dados. Neste caso, como temos várias máquinas por turno e vários

moldes por máquina, o ideal é se trabalhar com os dados dos moldes. Assim, em princípio, reduzimos as variáveis controladas para apenas uma: as Cavidades do Molde. A estratégia de retirada de amostras será voltada inicialmente para as cavidades do molde, mantendo os outros Fatores Controláveis como constantes.

4.2.3 Confiabilidade da Medição

Outra questão importante para se levantar nesta etapa do processo é a confiabilidade do processo de medição, mais precisamente, a reprodutividade e a repetitividade. Lembrando a importância da credibilidade dos dados obtidos e a famosa expressão “entra lixo, sai lixo”.

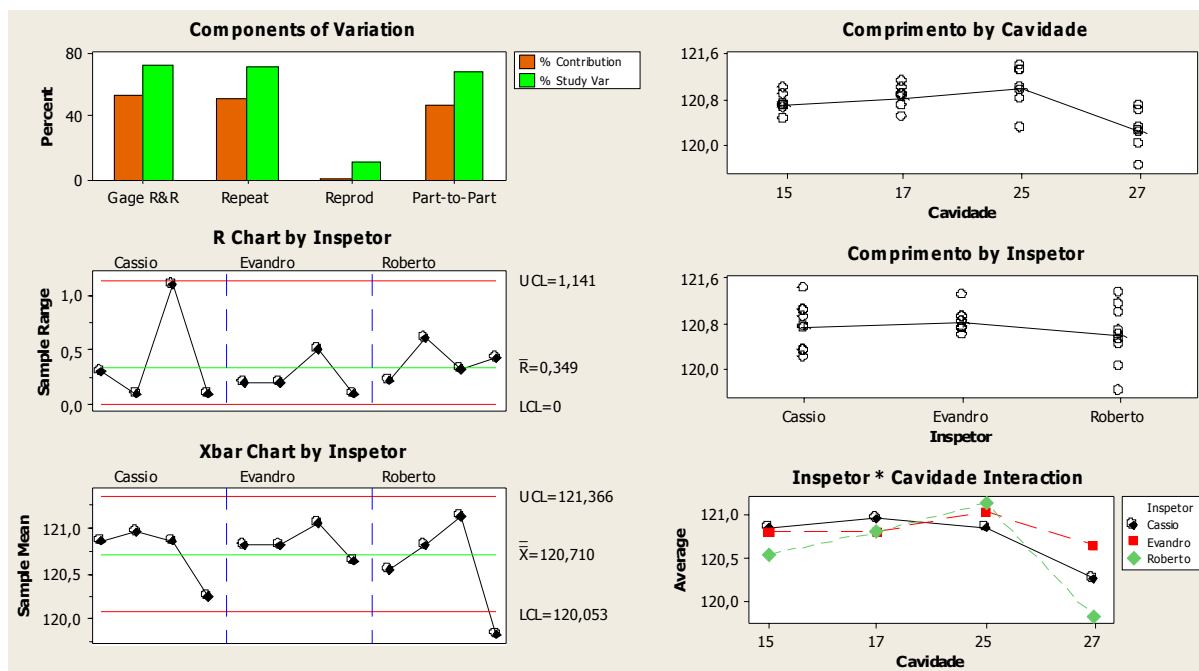
Repetitividade é um indicador da consistência de um sistema de medição, ou seja, “exprime a variação nas medidas com um instrumento de medição, quando usado várias vezes por um avaliador medindo a mesma característica na mesma peça” (Balestrassi et al, 2002). Uma baixa repetitividade significa normalmente um instrumento de medição inconsistente, ou, raramente, uma variabilidade excessiva das medições de um avaliador.

Reprodutividade é um indicador que compara diferentes avaliadores, ou seja, “exprime a variação média das medidas feitas por diferentes avaliadores, usando o mesmo instrumento de medição, medindo a mesma característica na mesma peça” (Balestrassi et al, 2002). Uma baixa reprodutibilidade indica que os avaliadores tiram medidas muito diferentes, logo executam métodos diferentes ou possuem outro problema a se resolver.

Uma boa avaliação R&R significa que os avaliadores e os instrumentos estão apropriados para realizar a medição. Um estudo da medição foi devidamente planejado, considerando os inspetores de todos os turnos, numerando as peças a serem medidas, fazendo as medições de forma aleatória e “cega” do ponto de vista dos avaliadores, isto é, apenas quem está conduzindo o experimento sabe qual a peça que está sendo medida, evitando tendenciosidades.

O Software Minitab foi usado para fazer a análise “Gage R&R (Crossed)”. Os resultados serão discutidos para verificar a necessidade de ações corretivas na medição.

Figura 4.7: Gage R&R (ANOVA) para o Comprimento



Ilustramos aqui apenas a análise da variável comprimento; as outras encontram-se no anexo 02.

Analisando o primeiro gráfico, vemos que a repetitividade é equivalente ao peça a peça, o que significa que temos problemas em relação à medição de uma peça repetidas vezes. Esse problema pode ser analisado no segundo gráfico da primeira coluna (R Chart by Inspetor), com uma amplitude no limite da linha de controle no Inspetor Cassio.

O terceiro gráfico da primeira coluna (Xbar Chart by Inspetor) mostra um mesmo comportamento das peças, mas com uma variabilidade heterogênea entre os Inspetores. Esta variedade causa a diferença das médias das peças no segundo gráfico da segunda coluna (Comprimento by Inspetor), no qual se observa claramente a maior dispersão das medições do Inspetor Roberto. O terceiro gráfico também mostra que o instrumento de medição não é adequado pois as medições são muito próximas (sob controle), como se fossem imprecisas.

Os gráficos “Comprimento por Cavidade” e “Interação Inspetor Cavidade” neste caso não fazem sentido, pois a amostragem foi feita aleatoriamente e não interessam os parâmetros das peças.

Ações a serem tomadas:

- i. A baixa repetitividade indica que o instrumento (paquímetro) não está sendo eficaz. Isso se deve por dois dos três inspetores considerarem apenas décimos de milímetros, sendo que a especificação está em décimo de milímetros. No caso o aconselhável é fazer a medição nos centésimos de milímetros, para não ter problemas com arredondamento que façam a medida entrar ou sair da especificação. Deve ser avaliado pelo gerente se as suas especificações ainda possuem folga para permitir este erro de arredondamento da medição para uma casa decimal. O terceiro gráfico da primeira coluna que indica que as medições estão muito próximas, “sob controle”, ou seja, medidas com um instrumento que não as diferencia muito (uma casa decimal).
- ii. A maior variabilidade das medições do Inspetor Roberto será auditada nas próximas medições pelo Gerente, verificando possíveis causas, métodos e alertando-o da maior variação.

No anexo 02 encontram-se as análises R&R das outras variáveis, com as respectivas ações tomadas.

4.3 A - Análise

O objetivo primordial desta fase do DMAIC é determinar causas fundamentais do problema em questão.

Para começar a análise deixaremos de lado os dados quantitativos para voltar às análises qualitativas. Primeiramente é necessário reavaliar os possíveis problemas, ou efeitos, que estamos interessados (já vistos na figura 4.3). Esses defeitos foram estudados mais a fundo, começando por um *brainstorming* com as pessoas envolvidas no processo.

“O Brainstorming nos auxilia a produzir o máximo possível de idéias ou sugestões criativas sobre um tópico de interesse, em um curto período de tempo” (Werkema, 2004).

4.3.1 Brainstorming

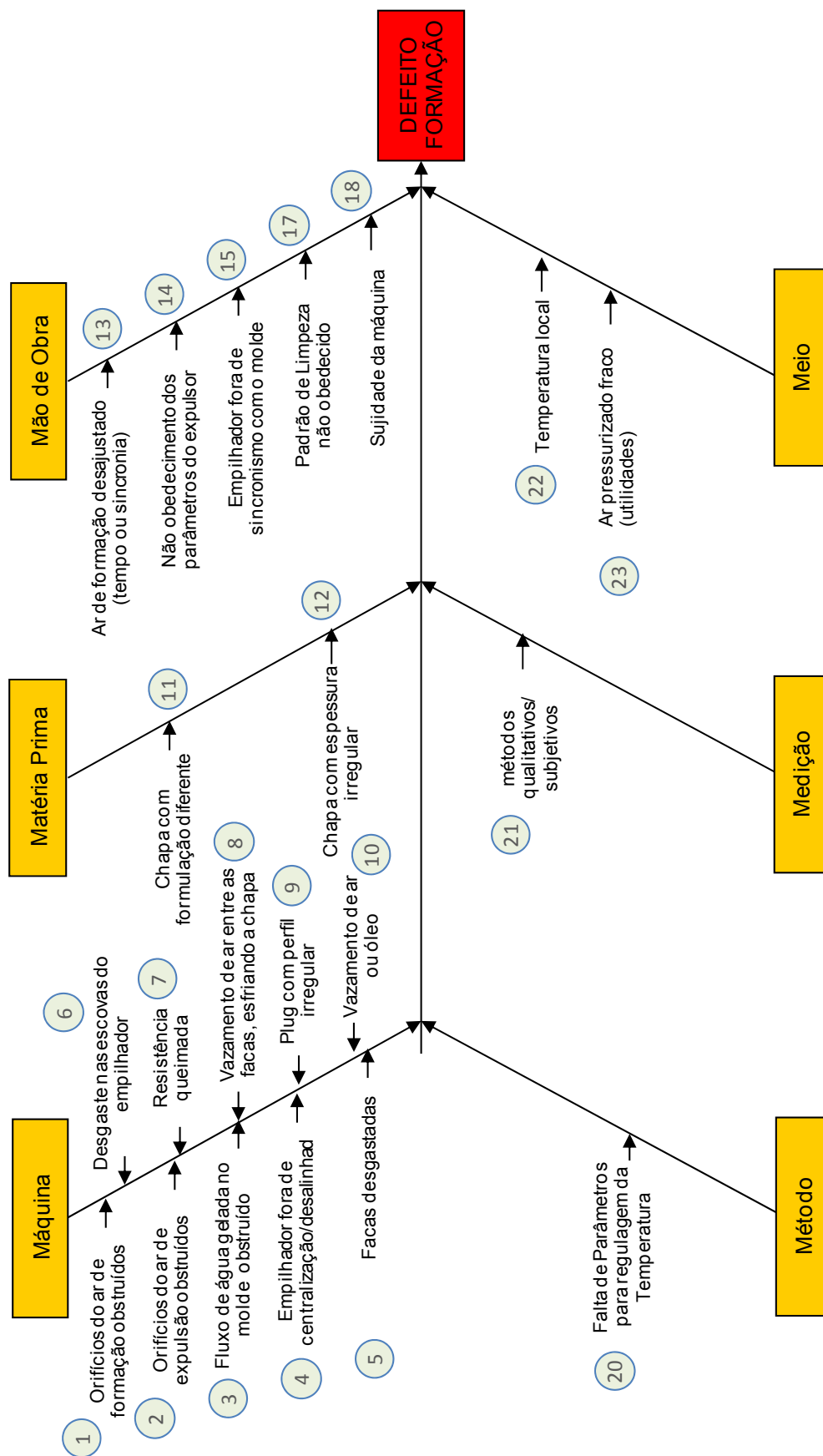
Tabela 4-4: Brainstorming dos defeitos por região da embalagem atingida

	MAL FORMADO	AMASSADO
Má formação no fundo	- Orifícios de saída de ar dos fundos obstruída ou insuficiente - Ar de formação com pressão insuficiente - Plug com perfil irregular (ϕ maior) - Fluxo de água gelada nos fundos está insuficiente (fundo quente) - Material (chapa) abaixo da temperatura necessária para formação do fundo - Ar de formação com pouco tempo de acionamento - Variação na espessura da chapa, acima do especificado - Corrente de ar entre as estufas esfriando a chapa - Material toca no molde durante a pré formagem	- Falha Operacional na regulagem do expulsor
Má formação no colarinho	- Material (chapa) abaixo da temperatura necessária para formação do produto - Acionamento do ar de formação adiantado ou atrasado, ajustado fora do tempo - Ar de formação insuficiente para o produto ou com baixa pressão - Vazamento do ar de formação entre as facas esfriando a chapa - Plug com acionamento muito adiantado, toca na chapa antes da formagem - Orifícios da saída de ar na caneca insuficiente ou obstruídos - Variação na espessura da chapa, acima do especificado - Passo do transporte insuficiente, a chapa toca no molde antes da formagem	- Expulsor do molde com vazamento de ar
Má formação na aba	- Material abaixo da temperatura necessária para formagem - Facas sem corte - Pressino regulado acima da linha de corte, não prensa a chapa	- Desgaste das escovas do Empilhador
Má formação na parede	- Plug descentralizado em relação a cavidade - Variação de espessura na chapa acima do especificado	- Empilhador não alinhado corretamente com o molde

Após a coleta destas informações, visualizá-la em um diagrama de Ishikawa é recomendável para estudar as possíveis fontes do problema. “O Diagrama de Causa-Efeito é um guia para discussão” (Ishikawa, 1971). Muitas das informações obtidas em um brainstorming são colocadas a esmo, sem saber ao certo o que é causa e o que é consequência. O Diagrama causa efeito nos ajuda nesta etapa.

4.3.2 Diagrama Causa-Efeito

Figura 4.8: Diagrama de Causa-Efeito



O Diagrama “Espinha de Peixe” já fornece uma visão bem mais clara do problema, na qual podemos ver uma maior concentração de causas relacionadas à máquina e mão-de-obra. Essas causas serão estudadas mais a fundo para descobrir se são de fato causas raiz ou conseqüências de outras causas.

4.3.3 Análise das Causas Raízes (Diagrama de Relações)

Também chamado de Diagrama de Relações, segundo Werkema (2004), esta ferramenta permite a visualização de relações de causa efeito de um conjunto de dados não numéricos e “sua utilização é recomendada quando as relações entre as causas de um problema são complexas e é necessário evidenciar que cada evento não é resultado de uma única causa, mas de múltiplas causas inter-relacionadas”.

Para facilitar o desenvolvimento do diagrama de relações, foi usado um raciocínio similar ao método KJ, explicado na revisão bibliográfica, no qual grupos das possíveis causas identificadas no brainstorming e no Ishikawa foram separados de acordo com suas afinidades. A essência deste método é partir de diversos itens detalhados (dados no brainstorming pelos operadores), juntá-los em subgrupos de acordo com suas afinidades e depois analisá-los melhor, como se partisse do micro para o macro e voltasse para o micro, compreendendo melhor o que são causas e o que são conseqüências. O resultado do método KJ está no próprio diagrama de relações a seguir, os subgrupos estão representados na segunda coluna. Os números indicadores (em azul) mostram como ficou a separação dos grupos e relacionam todos itens do *Ishikawa* com o *Diagrama de Relações*.

A análise de causa raiz a seguir funciona com o seguinte raciocínio: partindo-se de um efeito “má formação” pergunta-se o “POR QUE” deste e as respostas vão sendo escritas na segunda coluna. O mesmo se faz com a segunda coluna, escrevendo as respostas na terceira coluna, etc. Enquanto ainda é possível questionar o efeito em questão, continua-se perguntando o porquê, até que se encontre uma causa raiz. Essa causa raiz normalmente é detectada por ser algo simples, tangível e de bom senso. O bom senso é fundamental para não continuar perguntando o porquê da causa raiz até começar chegar a respostas como “o Presidente” ou “a culpa é da Microsoft”.

As causas raízes detectadas foram evidenciadas em vermelho e serão discutidas mais a frente.

Figura 4.9: Diagrama de Relações (Continua)

Má formação	Problema com o ar de formação	Baixa pressão	Orifícios de saída de ar dos fundos obstruída ou insuficiente ①	Falta de Manutenção do Molde		
			Plug com perfil irregular (Ø maior) ⑨	Peças do almoxarifado fora de especificação		
			Diferente pressão para diferentes Skus	Falta instruções operacionais sobre diferenças de pressões entre os produtos		
				Vazamentos de ar ⑩		
		Baixa pressão do sistema ②③		Compressor da fábrica não agüentou demanda	A Potência do Compressor não foi reajustada a tempo	Não existe um indicador ou alarme para a queda de pressão no sistema
		Acionamento do ar de formação adiantado, atrasado ou com duração errada ⑬	Falha Operacional			
	Problema com o ar de expulsão	Acionamento do ar de expulsão adiantado, atrasado ou com duração errada	Falha Operacional na regulagem do expulsor ⑭			
		Orifícios de saída de ar dos fundos obstruída ou insuficiente ②	Falta de Manutenção do Molde			
	Molde quente	Fluxo de água gelada nos fundos está insuficiente (fundo quente) ③	Cavidades do resfriamento obstruídas	Manutenção do molde		
				Sujidade ⑮	Padrão de Limpeza não Obedecido ⑯	
	Problema no corte	Falta de Manutenção nas facas ⑤				
		Usinagem incorreta	Erro de projeto			
	Desgaste das escovas do Empilhador	Falta de Manutenção Corretiva	Falha do operador não identificar o problema	Falta de instrução do operador		
	Pote Amassado no Empilhador	Empilhador não está sustentando o empilhamento de potes	As escovas estão gastas ⑥	Manutenção corretiva	Falha do operador em não detectar	Falta de instruções
		Empilhador não alinhado corretamente com o molde ④	A centralização do Empilhador é regulada visualmente	Não há parâmetros para Regulagem	Ausência de um método eficaz como um dispositivo calibrador	
		Empilhador fora de sincronia com o molde ⑮	Falha Operacional	Falta de instrução do Operador		

Figura 4.10: Diagrama de Relações (Conclusão)

Má formação	Material (chapa) fora da temperatura	7	Resistência queimada	Falta de Manutenção Corretiva	Operador não detectou problema	Falta de instrução do operador	
			Regulagem de temperatura errada	Não existe procedimento formal (padrão operacional) 20			
			Correntes de ar esfriam a chapa	Expulsor de molde com vazamento de ar	Falta de manutenção do molde		
				Vazamento de ar entre as facas 8	Falta de manutenção do molde		
			Variação na espessura da chapa, acima do especificado 12	Problemas nas Extrusoras	Cilindros da Calandra Fora de Sincronismo	Falta de Aferição / Verificação	
					Oscilação de Pressão	Alteração na formulação 11	Ausência de alguma matéria prima, principalmente moído
			Material Compactado (Extrusoras)	Chapa está sendo esmagada na passagem pelos cilindros da calandra	Abertura do cilindro da calandra está excessivamente menor que a espessura da chapa formando dois cordões	procedimento operacional inadequado ao ajustar a abertura dos cilindros da calandra	Falta de treinamento do operador
							Ausência de um especímetro para calibrar a abertura dos cilindros da calandra
			Corrente de ar está esfriando a chapa	A porta está aberta	Operador não fecha	Falta de dispositivo Poka-Yoke que não permite funcionamento da máquina com porta aberta	
				Corrente de ar entre as estufas	Falta de uma cobertura isolante na passagem da chapa entre as estufas		
			Troca de bobina ou parada de máquina sempre tem o começo com temperatura desregulada	O material na máquina ou fica exposto muito tempo as resistências	Não se refugam os primeiros pots após a parada de máquina que expôs muito tempo as resistências	Operador não faz a conta de quantos passos devem ser dados após o reinício	Falta de instrução do operador
				As resistências não estão aquecidas devidamente	Não se espera as resistências pré aquecerem antes de rodar a máquina	Falta de instrução do operador	
			Temperatura local 22				
	Rejeitar um produto bom - Erro tipo 1		Métodos qualitativos/ subjetivos 21				
			Rejeição por amostragem errada	Amostra de uma unidade já é suficiente para rejeitar a caixa			

4.3.4 Diagrama de Matriz – Partes da Máquina

O diagrama causa-efeito é ótimo para visualização de possíveis causas do defeito, mas não pondera de qualquer forma estas “causas”.

A ferramenta Diagrama de Matriz é muito útil para relacionar o defeito com as partes funcionais da máquina e com os ramos principais (6Ms):

Figura 4.11: Diagrama de Matriz. Elaborado pelo autor.

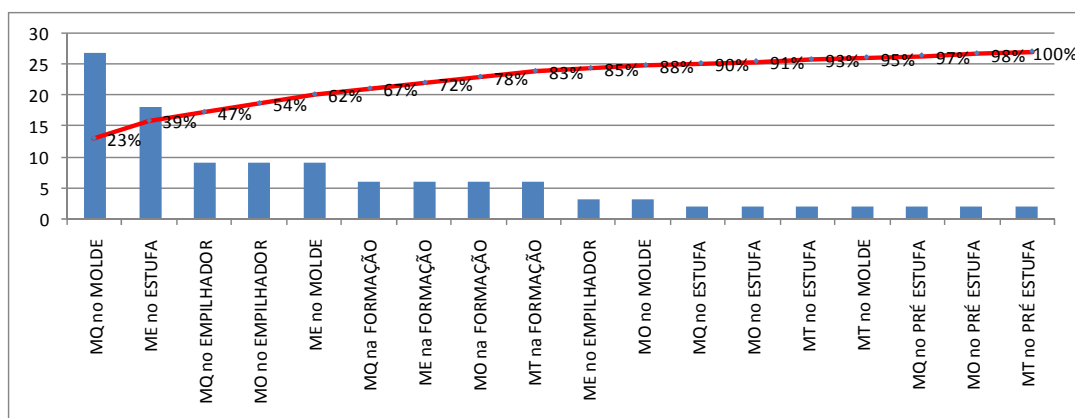
Peso	Defeitos	EMPILHADOR				MOLDE				ESTAÇÃO DE FORMAÇÃO				ESTUFA				PRÉ ESTUFA				ALIMENTAÇÃO			
		MQ	ME	MO	MT	MQ	ME	MO	MT	MQ	ME	MO	MT	MQ	ME	MO	MT	MQ	ME	MO	MT	MQ	ME	MO	MT
2	MAL FORMADO					⊕	○	△	△	○	○	○	○	△	⊕	△	△	△							
1	AMASSADO	⊕	○	⊕		⊕	○	△																	
	total tipo (ponderado)	9	3	9	0	27	9	3	2	6	6	6	6	2	18	2	2	2	0	2	2	0	0	0	0
	total setor (ponderado)	21				41				24				24				6				0			

LEGENDA		PESO
△	= (Baixo)	1
○	= (Médio)	3
⊕	= (Alto)	9

Os pesos atribuídos aos defeitos foram 2 para mal formado e 1 para amassado, sendo esta a suposição de proporção entre os defeitos para alguns operadores. Para avaliação de impacto Baixo, Médio ou Alto, os pesos atribuídos foram 1, 3 e 9 respectivamente. A lógica é considerar os *efeitos médios* 3 vezes pior que os *efeitos baixos* e considerar os *efeitos altos* 3 vezes pior que os *efeitos médios*, ponderando-os exponencialmente, o que acaba priorizando, em geral, os esforços nos *efeitos altos*, ou seja, poucas ações para maiores resultados.

O resultado desta avaliação de criticidade dos problemas está no Pareto abaixo:

Figura 4.12: Pareto da análise de criticidade do defeito por área funcional e fonte (6Ms).



Agora já temos, no mínimo, um ponto de partida para começar a próxima fase do DMAIC, mas ainda é imprescindível analisar melhor os dados retirados do processo para levantar e provar estas hipóteses.

Neste momento voltamos ao começo da análise, quando foi falado que primeiro seriam vistos os fatores qualitativos, pois agora veremos os fatores quantitativos.

O ciclo DMAIC não é uma atividade puramente linear. Quando qualquer equipe começa a investigar, a coletar dados, etc., quase sempre faz descobertas a respeito de problemas e processos. Essas revelações significam que o projeto Meta, por exemplo, pode ser revisado mesmo até o ponto de implementar soluções. Ou, após testar uma solução, uma equipe pode necessitar realizar mais trabalhos de Análise. Em geral, as equipes de melhoria podem programar seu progresso usando as fases D-M-A-I-C, mas, em geral, é uma atividade iterativa. (Pande, Neuman e Cavanagh, 2001)

Ainda não se sabe nem o tipo de comportamento das variáveis. Para começar a ter uma melhor noção das variáveis estudadas serão utilizadas ferramentas básicas da qualidade, como histograma, Box-plot, diagrama de dispersão e gráfico linear.

Outro ponto muito relevante é a busca da argumentação segundo fatos, um dos principais pilares da metodologia Seis Sigma. “A diferença entre discutir e argumentar é se os participantes estão usando fatos ou opiniões” (Crosby, 1990 pag165).

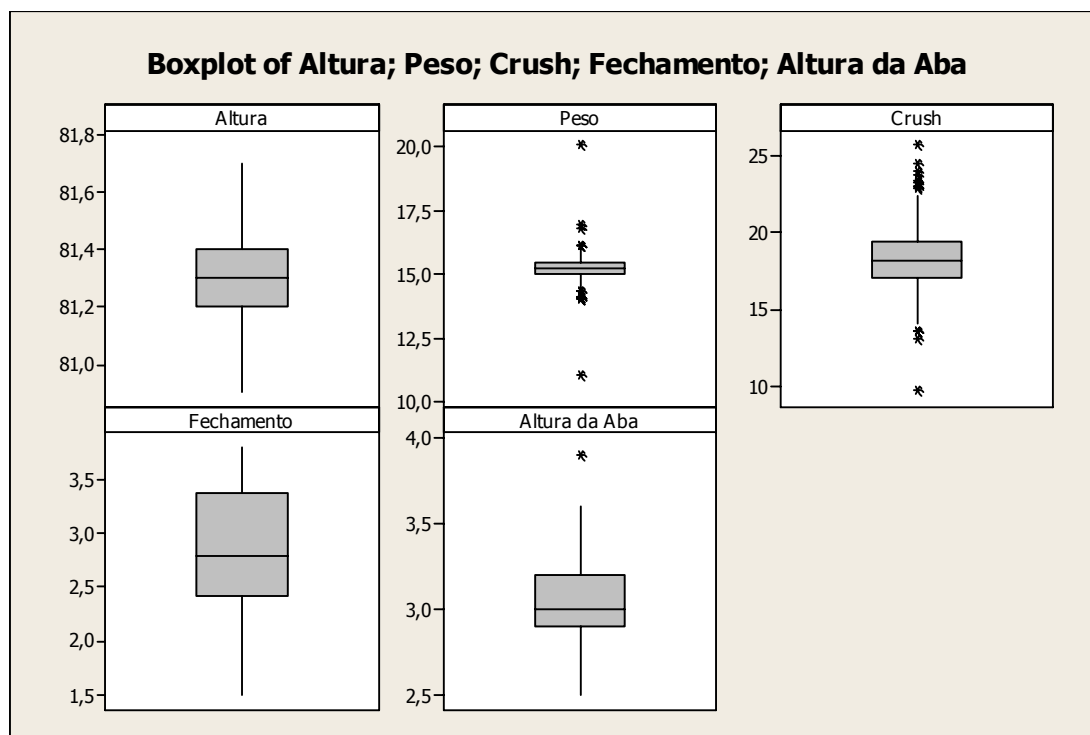
4.3.5 *Histograma*

Considerando as mesmas variáveis quantitativas estudadas na fase de Medição, o primeiro passo seria visualizar os seus comportamentos, para começar a tirar hipóteses e conclusões sobre suas distribuições. Neste caso iremos rejeitar esta etapa, pois mais a frente será feita a análise de capacidade das variáveis, já incluindo os histogramas e as especificações, com seus respectivos indicadores.

4.3.6 Box Plot

O software estatístico Minitab fornecerá os gráficos Boxplot. A utilidade desta ferramenta será detectar o quanto os processos estão sujeitos a causas normais e o quanto estão sujeitos a causas especiais, que serão mostradas com a presença de outliers.

Figura 4.13: Box-Plot das cinco variáveis do processo. Elaborado pelo autor.



O gráfico acima demonstra claramente a presença de vários outliers nos dados obtidos. Estes outliers podem interferir diretamente nos resultados dos testes de normalidade, capacidade e similares. Para uma análise mais fiel desta distribuição estes outliers serão excluídos, mas serão tratados mais a frente no estudo das possíveis causas especiais.

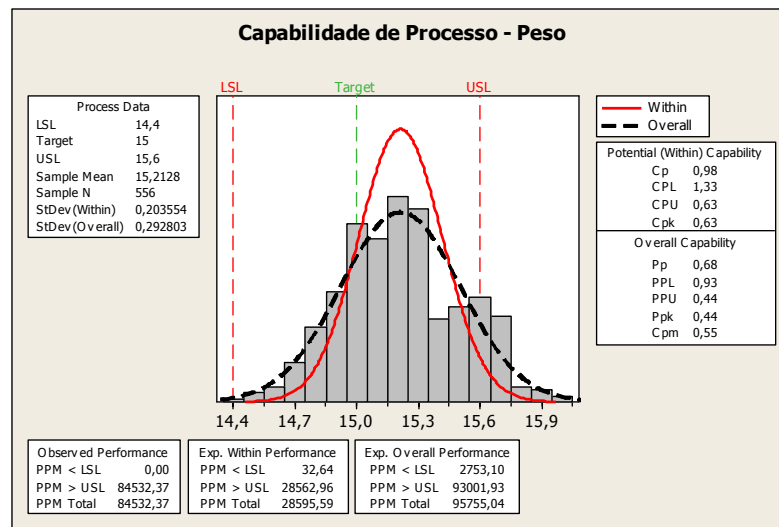
O ideal em um projeto Seis Sigma é fazer uma rastreabilidade de todos estes outliers, procurando nos fatores dos processos as causas destas variações excedentes. Esse estudo não pode ser feito neste caso, pois não há registro nenhum dos valores dos fatores ou acontecimentos presentes nos outliers. Sabendo da presença de outliers sabemos que temos que tomar mais cuidado em relação a causas especiais e em possíveis análises de controle do processo.

A questão da dispersão e assimetria será mais bem tratada na capacidade de processo.

4.3.7 Medindo a Capabilidade do Processo

O estudo de Capabilidade do Processo exibe o histograma com uma curva normal estimada e suas especificações, permitindo ver a variabilidade e centralização do processo (pp e ppk, respectivamente). O software Minitab forneceu as seguintes análises de capacidade:

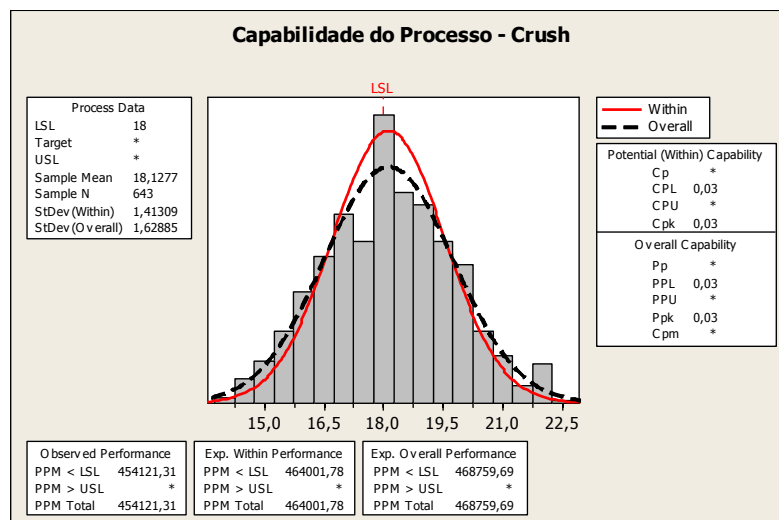
Figura 4.1: Capabilidade de Processo - Peso. Elaborado pelo autor.



A variável Peso tem uma distribuição com o cp próximo de 1, mas com cpk 0,6, deslocada para a direita (LSE). A consequência deste caso não é notada pelo cliente, mas reflete em maiores custos de produção, relacionados à matéria-prima.

Já a distribuição do Crush abaixo só possui um limite inferior, mas praticamente metade dos elementos estão abaixo da especificação. Temos apenas uma maior probabilidade de reclamação de cliente, mas deve-se analisar a descentralização.

Figura 4.2: Capabilidade de Processo - Crush. Elaborado pelo autor.



É importante ressaltar que praticamente todos os limites de especificações citados são, na verdade, limites de especificações “internos”, ou seja, definidos pela qualidade, e não pelo cliente. Isso ameniza todos os casos de distribuições fora de especificação, mas de maneira alguma deixa de ser uma preocupação.

O Fechamento (abaixo) tem cp e $cpk = 0,5$, o que é muito preocupante, pois é um dos principais problemas de reclamações de cliente: o fechamento fraco causa problemas no “envaze” dos alimentos, no empilhamento dos potes e no transporte.

Figura 4.3: Capabilidade de Processo - Fechamento. Elaborado pelo autor.

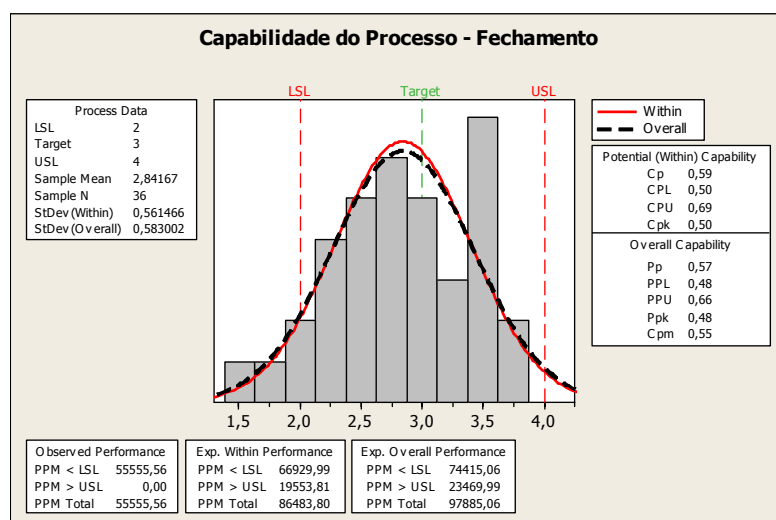
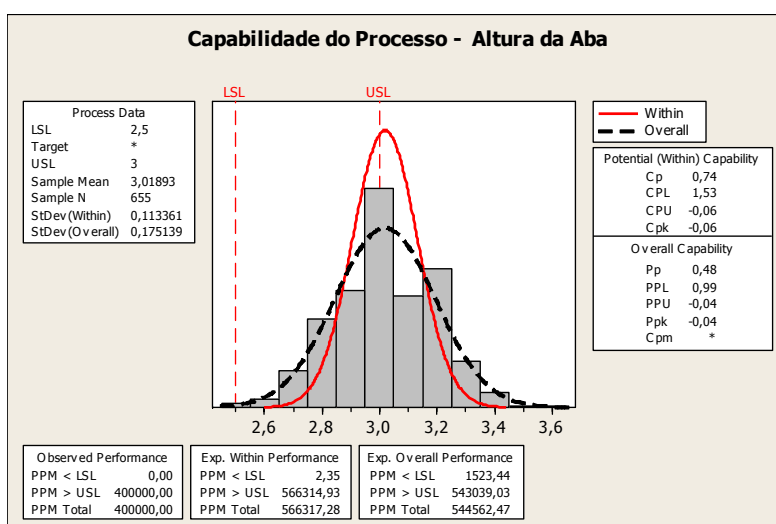
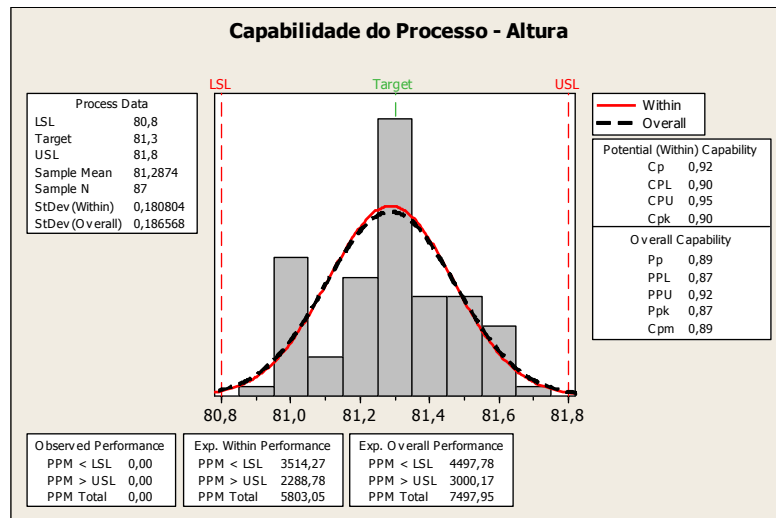


Figura 4.4: Capabilidade de Processo - Altura da Aba. Elaborado pelo autor.



A Altura da Aba (acima) está bem descentralizada para a direita ($cpk = 0$) e uma variação alta ($cp = 0,74$). A aba está diretamente relacionada com o fechamento (abaixo), o não atendimento da especificação da aba reflete em um fechamento fraco (pote abre muito facilmente).

Figura 4.5: Capabilidade de Processo - Altura. Elaborado pelo autor.



A Altura do pote é o processo mais capaz, centralizado e com menor variação. Mesmo assim temos cp e cpk próximos, mas menores do que 1. Essa variável não possui problemas relacionados, apenas deve atender as especificações para evitar reclamações.

Nota-se de uma maneira geral que a preocupação é, além do não atendimento das especificações, a despreocupação consciente de distribuições que estão totalmente fora da especificação. Isto é, todos sabem que metade dos ensaios de crush resulta abaixo da especificação, mas nada é feito. Em princípio existem três explicações para isso: 1) A *Especificação Interna* possui uma grande folga em relação à *Especificação Externa*; 2) Existe um esforço (ineficaz) para melhorar a capacidade do processo; 3) Nada disso é levado em consideração.

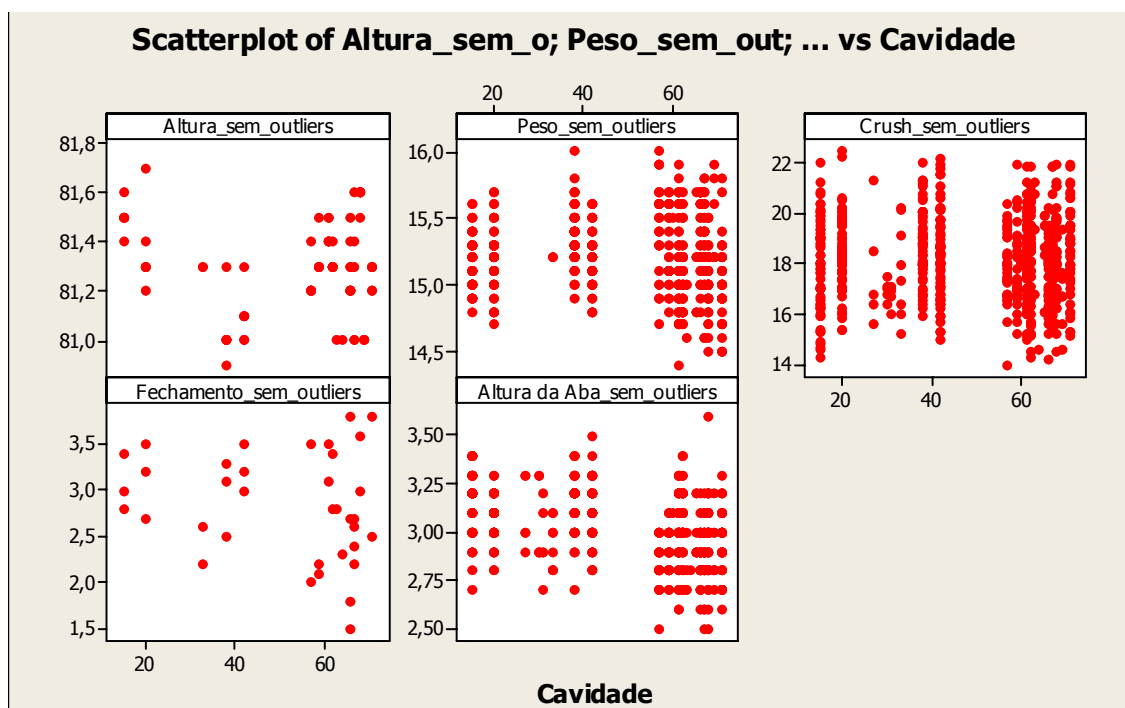
Infelizmente a terceira opção é a que melhor explica a capacidade, mas não se trata de um descaso do processo, apenas um ponto de vista novo, nunca analisado antes.

De certa forma, a análise de capacidade reflete a *cultura da fábrica*, que, por não conhecer exatamente o processo, se comporta de uma maneira corretiva, evitando incêndios, tomando ações locais, sem focar a centralização e a redução da variabilidade do ponto de vista estatístico.

4.3.8 Diagrama de Dispersão

Temos abaixo o diagrama de dispersão com as cinco saídas mensuráveis. Cada linha representa uma cavidade e dentro de cada linha temos todas as medições desta cavidade. Esta ferramenta serve para analisar visualmente possíveis diferenças de comportamento entre as cavidades.

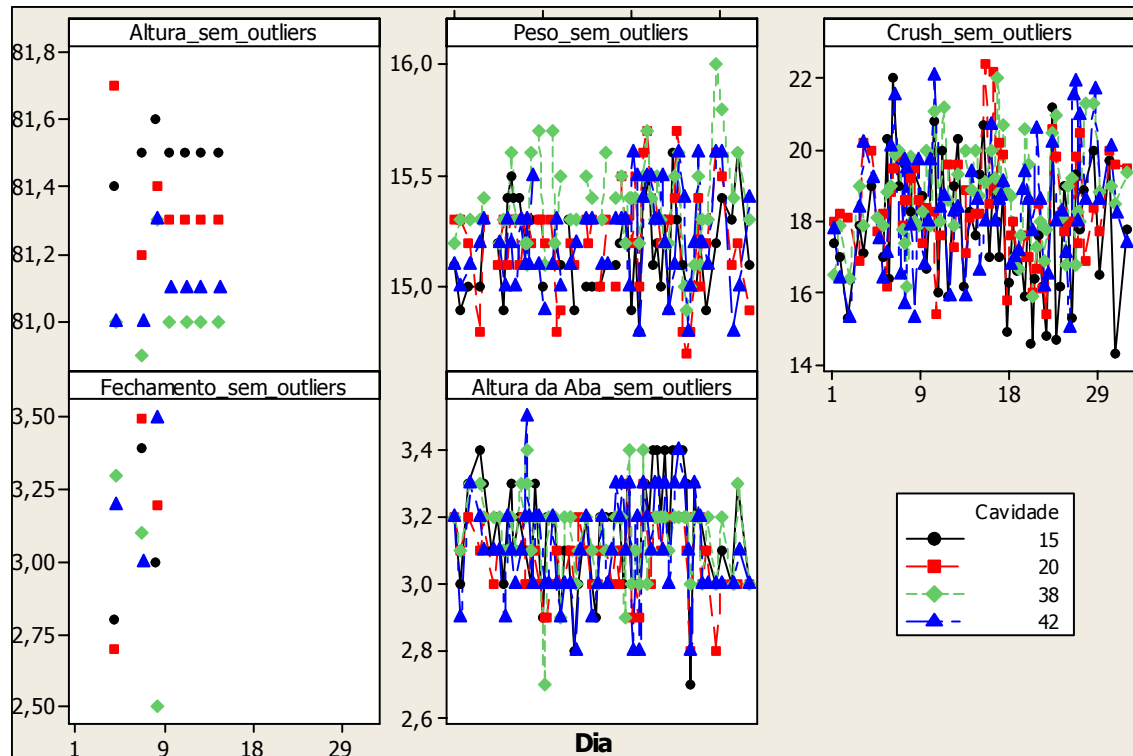
Figura 4.14- Diagrama de Dispersão por Cavidades



Analisando o diagrama, podemos apenas observar sutis diferenças na Altura e no Fechamento, mas ainda nada conclusivo, ou seja, é levantada uma hipótese de diferença estatística significativa entre as cavidades em alguns casos acima.

4.3.9 Gráfico Linear

Continuando com as ferramentas básicas descritas no sumário para análise do problema, o gráfico linear abaixo mostra o comportamento das quatro principais cavidades ao longo do tempo, no mês de agosto. O objetivo deste teste é o mesmo do Diagrama de Dispersão acima, analisando possíveis diferenças no comportamento das cavidades.



Assim como no diagrama de dispersão é possível perceber algumas possíveis heterogeneidades entre as cavidades, mas nada conclusivo.

Dando continuidade ao roteiro proposto, será levantada a hipótese de que as cavidades do molde são responsáveis pela variação nas medições.

4.3.10 Testes de Hipóteses

Para termos certeza da existência de variação entre os comportamentos das cavidades, usaremos a análise de variância, de acordo com o seguinte teste de hipóteses:

H0: Não existe diferença entre as cavidades

H1: Existe diferença entre as cavidades

Os dados utilizados serão todos do mesmo turno C e mesma máquina T3, minimizando interferências de outros ruídos.

Como visto na Revisão Bibliográfica a análise de várias médias tem como pressuposto a igualdade de variância entre os fatores analisados, logo cada ANOVA terá anexo um teste de Bartlett ou Levene.

Em cada página seguinte é realizado um Teste de Hipótese para cada variável de saída: Altura, Peso, Crush, Fechamento e Altura da Aba, respectivamente.

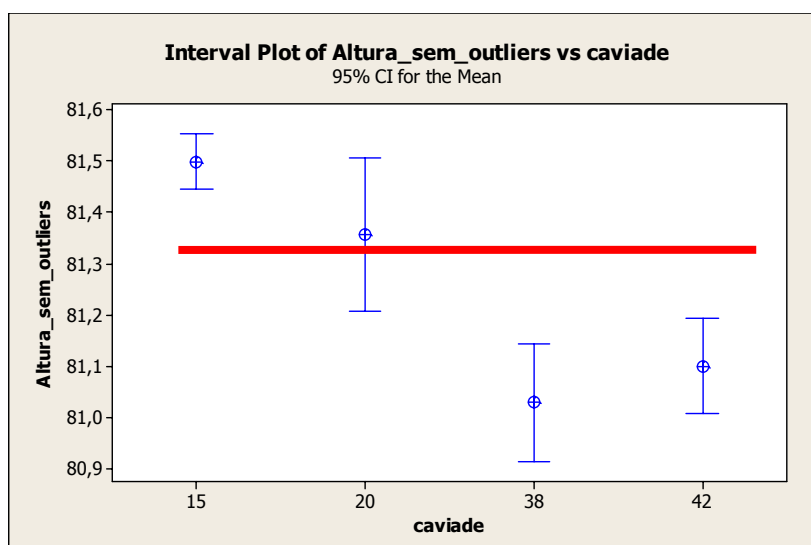
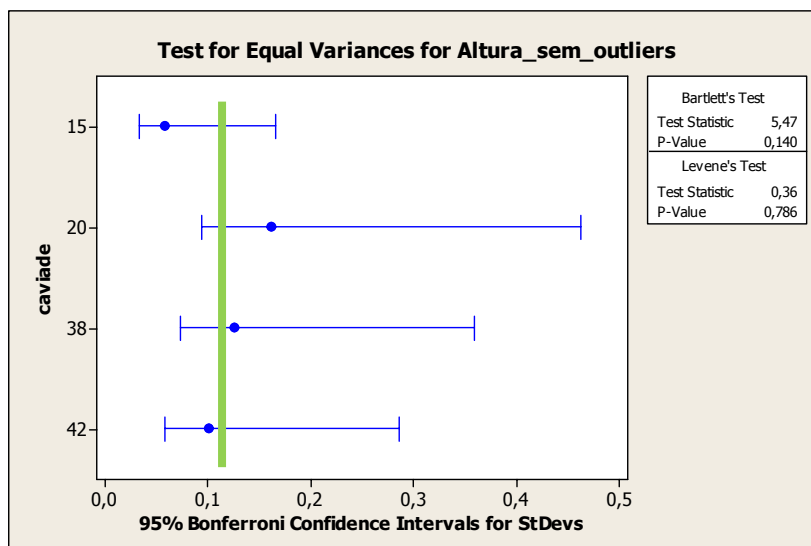
Para melhor visualização dos resultados dos testes as linhas verdes indicam que há uma região em comum a todas as cavidades, logo não podemos afirmar estatisticamente (CI de 95%) que há diferença entre suas médias. Já as linhas vermelhas mostram uma região que não há intersecção de intervalos, logo existe uma diferença significativa entre as médias.

Altura

Tabela 4-5: Análise de variância entre as alturas das cavidades.

RESUMO				
<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
15	7	570,5	81,50	0,0033
20	7	569,5	81,36	0,0262
38	7	567,2	81,03	0,0157
42	7	567,7	81,10	0,0100

ANOVA						
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	1,0182	3	0,3394	24,5776	0,0000	3,0088
Dentro dos grupos	0,3314	24	0,0138			
Total	1,3496	27				

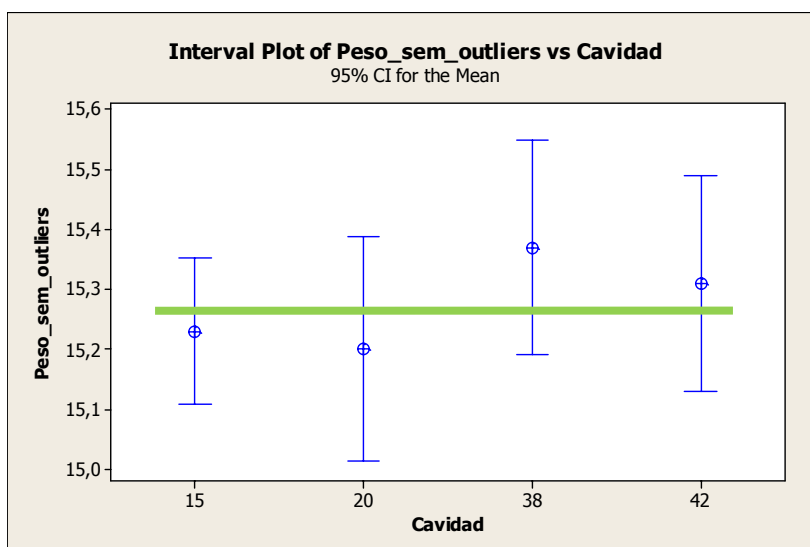
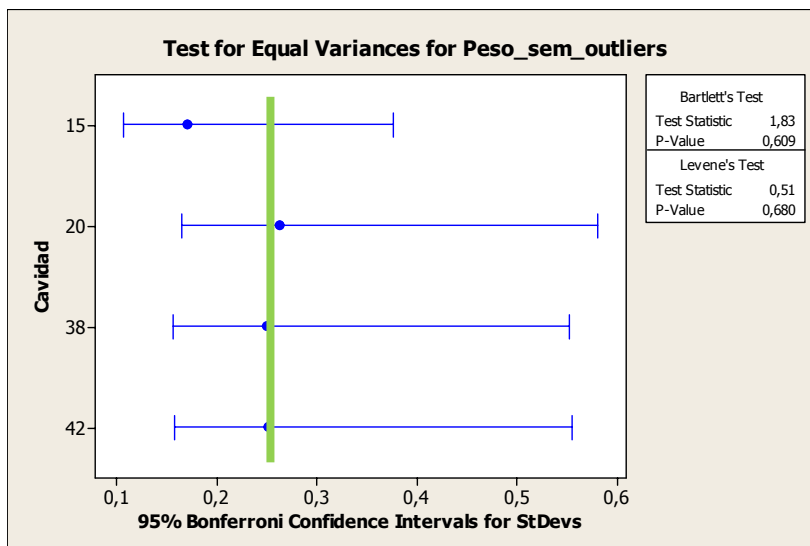


Peso

Tabela 4-6: Análise de variância entre os pesos das cavidades.

RESUMO					
Grupo	Contagem	Soma	Média	Variação	
15	10	152,3	15,23	0,0290	
20	10	152,0	15,20	0,0689	
38	10	153,7	15,37	0,0623	
42	10	153,1	15,31	0,0632	

ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	0,1788	3	0,0596	1,0666	0,3754	2,8663
Dentro dos grupos	2,0110	36	0,0559			
Total	2,1898	39				

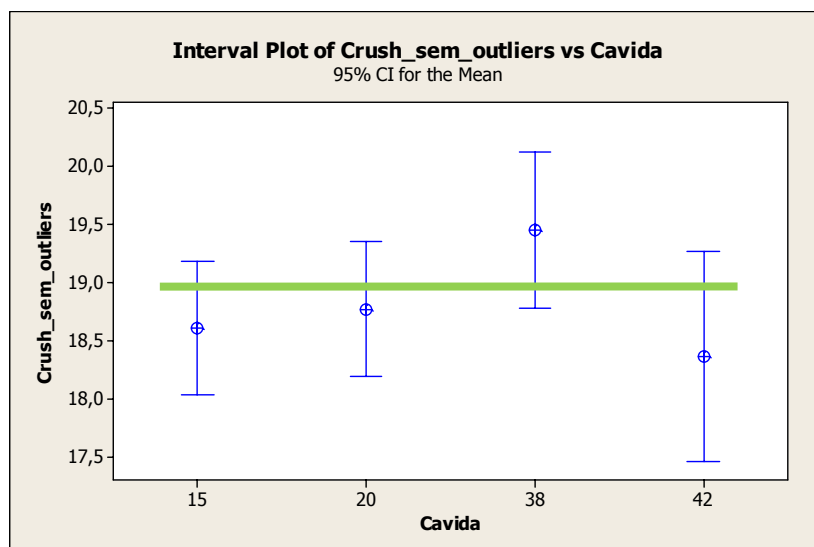
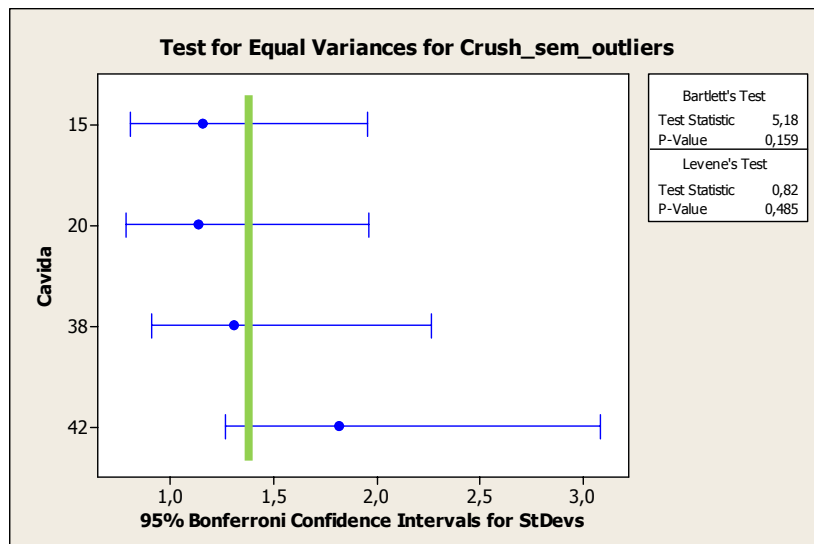


Crush

Tabela 4-7: Análise de variância entre os crushs das cavidades.

RESUMO				
<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
15	18	334,9	18,61	1,3276
20	17	319,1	18,77	1,2847
38	17	330,6	19,45	1,7114
42	18	330,5	18,36	3,3108

ANOVA						
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	11,2686	3	3,7562	1,9553	0,1293	2,7437
Dentro dos grupos	126,7899	66	1,9211			
Total	138,0584	69				

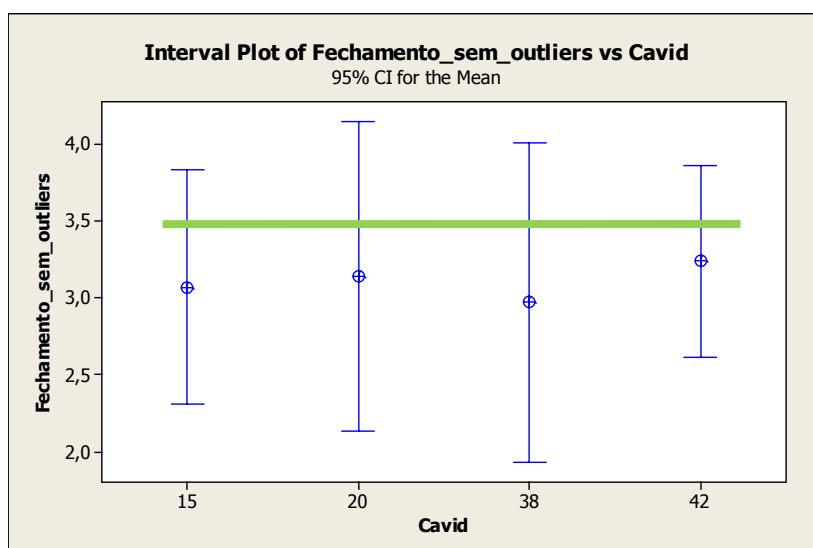
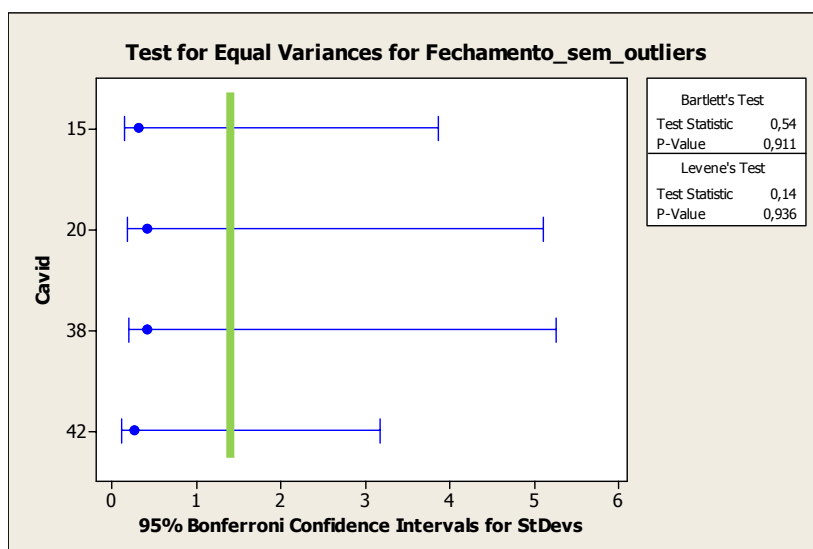


Fechamento

Tabela 4-8: Análise de variância entre os fechamentos das cavidades.

RESUMO				
<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
15	3	9,2	3,07	0,0933
20	3	9,4	3,13	0,1633
38	3	8,9	2,97	0,1733
42	3	9,7	3,23	0,0633

ANOVA						
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,1133	3	0,0378	0,3063	0,8203	4,0662
Dentro dos grupos	0,9867	8	0,1233			
Total	1,1000	11				

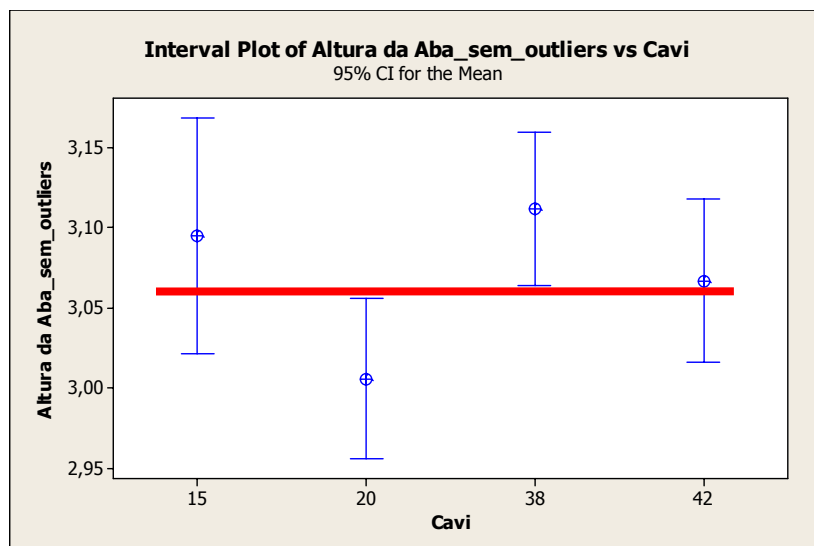
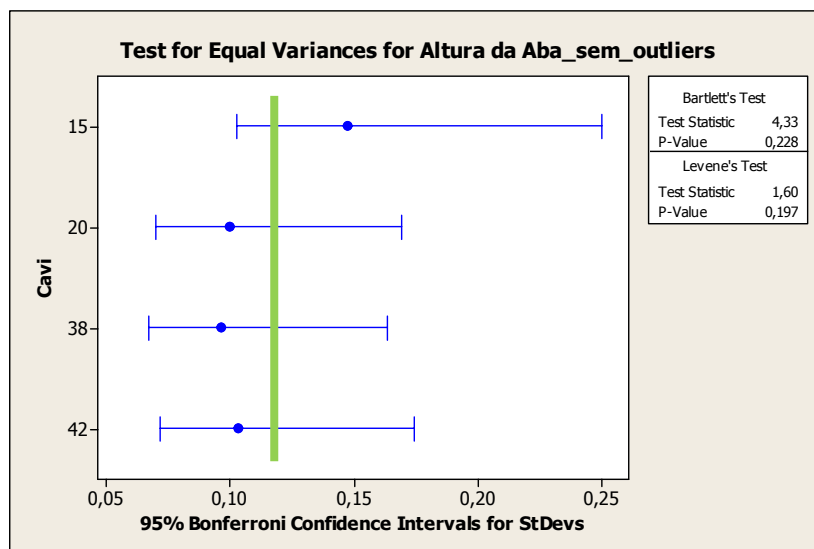


Altura da Aba

Tabela 4-9: Análise de variância entre as alturas de aba das cavidades.

RESUMO				
Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
15	18	55,7	3,09	0,0217
20	18	54,1	3,01	0,0100
38	18	56,0	3,11	0,0093
42	18	55,2	3,07	0,0106

ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	0,1161	3	0,0387	3,0021	0,0364	2,7395
Dentro dos grupos	0,8767	68	0,0129			
Total	0,9928	71				



Concluimos então que o molde é responsável pela diferença de média em duas das cinco variáveis estudadas: Altura da Embalagem e Altura da Aba.

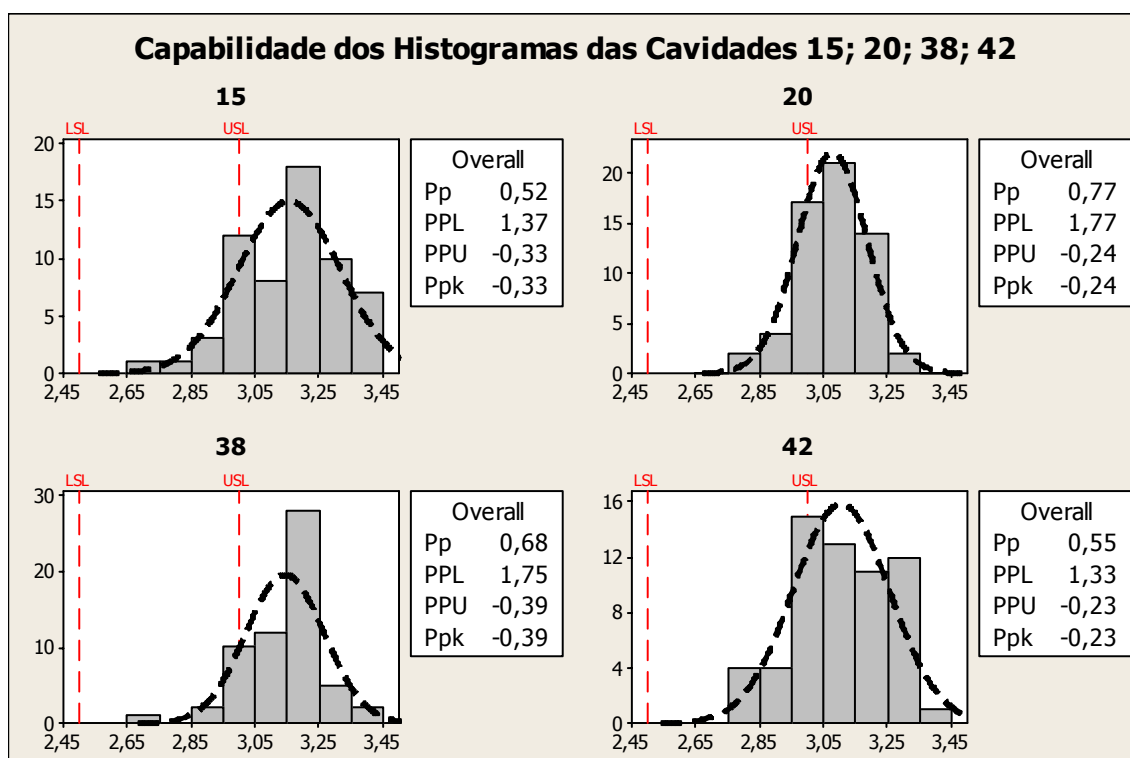
Essa análise apenas prova a já detectada influência do molde no diagrama de relações.

Já temos então uma causa vital a se tratar. Seguindo o roteiro proposto, ainda na Análise (A), será feito um refinamento desta hipótese, medindo a capacidade do processo para algumas diferentes cavidades.

4.3.11 Análise de Capacidade das Cavidades do Molde

O objetivo desta ferramenta é analisar a diferença de comportamento entre as cavidades para determinar se existe alguma em específico que está fora ou se existe sequer uma dentro do padrão para servir como referência. Será analisada primeiramente a Altura da Aba, considerada mais relevante para o Gerente da qualidade. As cavidades analisadas serão as que mais foram usadas e registradas no mês da coleta de dados.

Altura da Aba



Nenhuma das cavidades possui um processo capaz, todas estão fora da especificação.

Já podemos concluir então, baseado em dados, o tópico REPARO DOS MOLDES é fundamental na próxima etapa (Implementação). Juntamente com as outras conclusões já tiradas nesta fase, principalmente no Diagrama de Relações, seguimos para o próximo passo.

4.4 I - Implementação

Para a fase de Implementação dos problemas, segue uma síntese das causas raízes detectadas na Análise:

Nos dados qualitativos: A Análise feita até o Diagrama de Causa Efeito e a Matriz de Relações detectou várias causas raízes do problema.

Nos dados quantitativos: Análise comprovando que o molde é responsável (pelo menos um dos) pela diferença entre Altura e Altura da Aba nos ensaios. De qualquer forma apenas comprovou-se, qualitativamente, a suposição do molde como causa raiz na análise qualitativa.

4.4.1 Plano de Ação

Continuando o roteiro DMAIC proposto, a próxima ferramenta a ser usada é o Plano de Ações, também conhecido como “5W2H”. Essa ferramenta é uma simples tabela que estrutura as ações a serem tomadas de forma que as mesmas tenham uma definição de todos aspectos.

“O 5W2H tem o objetivo de definir, para a estratégia de ação elaborada, os seguintes itens: o que será feito (What); quando será feito (When); quem fará (Who); onde será feito (Where); por que será feito (Why); como será feito (How) e quanto custará o que será feito (How much)” (Werkema, 2004).

Do Plano de ação a seguir será desconsiderada apenas a questão do custo (How much), dada a restrição de publicação, citada no item 1.4.

PLANO DE AÇÃO					
O QUE (Causa Raiz)	ONDE	POR QUE	COMO	QUEM	QUANDO
Falta de Manutenção do Molde	Termoformagem 1	Orifícios obstruídos, faca sem corte, vazamentos de ar, tolerâncias ruins pelo desgaste	Programação no PCC para parada de máquina e manutenção corretiva. Criar cronograma de manutenção preventiva/preditiva. CEP	PCP Manutenção	- 
Falta de Instruções dos Operadores	Termoformagem 1	Regulagem de Pressão do ar de expulsão e formação; detecção de problemas (etiquetagem) e outros procedimentos operacionais	Preparar um treinamento de todos operadores e incluir os tópicos detectados.	Líder da Termoformagem	1 mês 
Não obediência do Padrão de Limpeza pelos operadores	Termoformagem 1	A Sujidade na máquina causa vários problemas, inclusive a obstrução de canais.	Fazer auditoria semanal da obediência do Padrão de Limpeza.	Líder da Termoformagem	2 semanas 
Peças do almoxarifado fora de especificação (plug)	Almoxarifado	Manutenção, por falta de opção, instala a peça fora de especificação mesmo.	Arrumar os parâmetros de estoque mínimo para os plugs e peças envolvidas.	Manutenção	2 semanas 
Não existe um indicador ou alarme para a queda de pressão no sistema (compressor central)	Utilidades	Quando muitas máquinas rodam ou existe um grande vazamento a pressão do sistema inteiro cai.	Colocar um dispositivo ANDON, ou qualquer sistema que alerte a manutenção sobre a queda de pressão de ar comprimido.	Manutenção	2 meses 
Ausência de um método eficaz como um dispositivo calibrador (Poka Yoke para manter o empilhador centralizado)	Termoformagem 1	Desalinhamento do molde com o empilhador	Elaborar um método para que o alinhamento do empilhador com o molde não seja feito visualmente	Manutenção	- 
Não existe procedimento formal (padrão operacional) para regulagem da temperatura	Termoformagem 1	Não existe padrão operacional da temperatura exata, apenas um intervalo	ANOVA ou DOE (Análise de variância ou Delineamento de Experimentos)	Membro do projeto	1 semana 
Ausência de alguma matéria prima, principalmente moído, na formulação	Extrusão	Erro Operacional da mistura	Auditoria das operações na mistura, esclarecimento dos problemas com os operadores	Líder da Extrusão	2 semanas 
Ausência de um especímetro para calibrar a abertura dos cilindros da calandra	Extrusão	Sem a ferramenta não se pode ajustar as espessuras das calandras	Comprar a ferramenta de medição necessária	Líder da Extrusão	1 mês 
Falta de dispositivo Poka-Yoke que não permite funcionamento da máquina com porta aberta	Termoformagem 1	Porta aberta aumenta a sujidade e esfria a máquina	Manutenção corretiva dos sensores das portas	Manutenção	2 semanas 
Falta de uma cobertura isolante na passagem da chapa entre as estufas	Termoformagem 1	Aumenta sujidade e esfria a chapa	Projetar e construir uma cobertura de acrílico no espaço entre as estufas	Manutenção	1 mês 

Verificamos então que no Plano de Ação existem ações de responsabilidades provindas de vários setores da fábrica, mostrando a inter-relação de dependência entre os processos. O resultado deste plano de ação será avaliado pela gerência e diretoria para aprovação dos casos que envolvem recursos, salvo poucas ações que são muito simples e tem aplicação imediata ou praticamente nenhum custo envolvido (como a ANOVA, feita pelo autor).

Dentre as ações levantadas, serão selecionadas algumas que se permitem estar neste trabalho, tanto pela sua viabilidade técnica, como financeira, como por tempo de implantação suficiente. São elas:

a) Manutenção geral da máquina

Muitas das ações têm a manutenção como responsável e faz-se necessário um estudo sobre porque estas ações foram detectadas neste ponto ao invés de terem sido naturalmente resolvidas pela manutenção.

b) Plano de Treinamento

Várias ações propostas estão totalmente relacionadas com erros operacionais, causados por falta de instrução dos operadores ou simples desobediência dos padrões.

c) Recuperação do molde

Dada a importância ressaltada no Diagrama Causa Efeito, na Matriz de Relações e, posteriormente, provada no Teste de Hipóteses, o molde tem sido o grande “vilão” do refugo em questão.

d) Parâmetros de Temperatura

A falta de parâmetros na regulação da temperatura da estufa foi um fator importante detectado tanto no Diagrama Causa Efeito, na Matriz de Relações e na Análise das Causas Raízes.

Olhando novamente no Plano de Ação, é possível identificar nas bolinhas em vermelho na direita qual dos fatores acima auxiliaria na resolução do problema.

O Passo Implantação (I do DMAIC) compreenderá então as quatro questões levantadas acima, respectivamente.

4.4.2 MANUTENÇÃO GERAL DA MÁQUINA

Para solucionar diversos problemas relacionados à manutenção da máquina a sugestão é reforçar o sistema de etiquetagem já existente na empresa. A etiquetagem é uma forma eficiente da Produção se comunicar com a Manutenção, auxiliando a Manutenção Autônoma (MA) na do equipamento. A MA é um dos principais pilares do TPM e de maneira geral é a manutenção feita pelo próprio departamento de produção (Susuki, 1994). As etiquetas (*tags*) são fichas preenchidas pelos operadores quando alguma anomalia na máquina é encontrada. A etiqueta fica exatamente no local da anomalia e uma cópia (carbono) desta etiqueta é levada depois para o departamento de manutenção, que mantém o controle delas. Assim a manutenção planeja seus esforços de acordo com as etiquetas (criticidade) e vai retirando as etiquetas das máquinas após o concerto. O sistema de etiquetagem funciona dentro do esquema de Manutenção Autônoma das máquinas, no qual os operadores têm um maior conhecimento do equipamento, fazem sua inspeção, limpeza, lubrificação e estabelecem seus próprios padrões operacionais. Isto é, todo este envolvimento do operador com o equipamento permite a maior compreensão do processo e a consequente interferência direta nele, sendo responsável pela sua manutenção.

Além do restabelecimento de condições básicas do equipamento (principal meta), uma etiqueta também é um bom meio para se principiar um mini projeto, necessário para alguma melhoria, como algumas das ações propostas no Plano de Ação. Isso porque a manutenção tem todo um sistema fechado de retirada de etiquetas muito bem organizado, ou seja, a partir do momento que uma etiqueta foi colocada, um planejamento será feito para sua retirada, envolvendo responsáveis, prazo, recursos, etc.

4.4.3 PLANO DE TREINAMENTO

Esta ação é uma das mais diretas, mas mais complexas também. Um dos princípios básicos de todas metodologias citadas neste trabalho é a capacitação, o desenvolvimento dos recursos humanos. Existem diversas maneiras de se repassar instruções e de gerenciar todas estas competências dos funcionários. Uma das ferramentas mais apropriadas e conhecidas é a “matriz de competências”, utilizada para relacionar quais são as competências que cada funcionário deveria ter, podendo ponderar também o quanto ele deve estar familiarizado do

assunto. O *gráfico de radar* também é usado para se comparar os “*gaps*” das atuais competências para as competências almeçadas. Uma atitude imediata é uma reunião com o líder do setor para saber o motivo desta “falta de instruções”.

4.4.4 RECUPERAÇÃO DE MOLDE

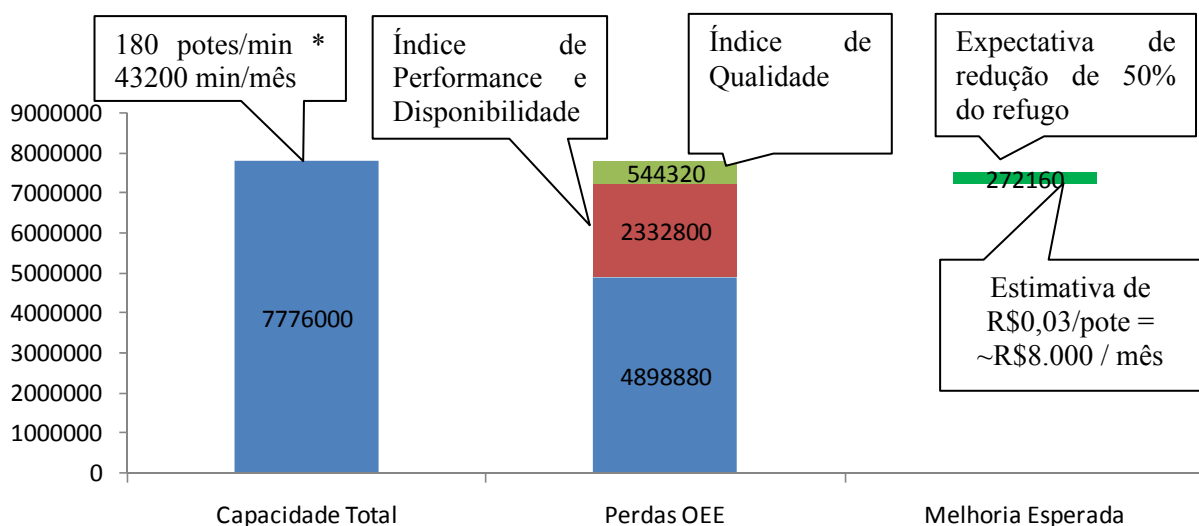
O custo da troca do molde é muito alto e a primeira resposta da gerência foi não ser possível o investimento pelo projeto. Certamente o custo é alto, mas o custo da qualidade em contrapartida deve ser também considerado.

Mesmo sem referências oficiais de valores, adotou-se neste trabalho alguns dados hipotéticos para possibilitar esta análise:

Investimento em um novo molde: ~R\$300.000,00 parcelados em 12 meses.

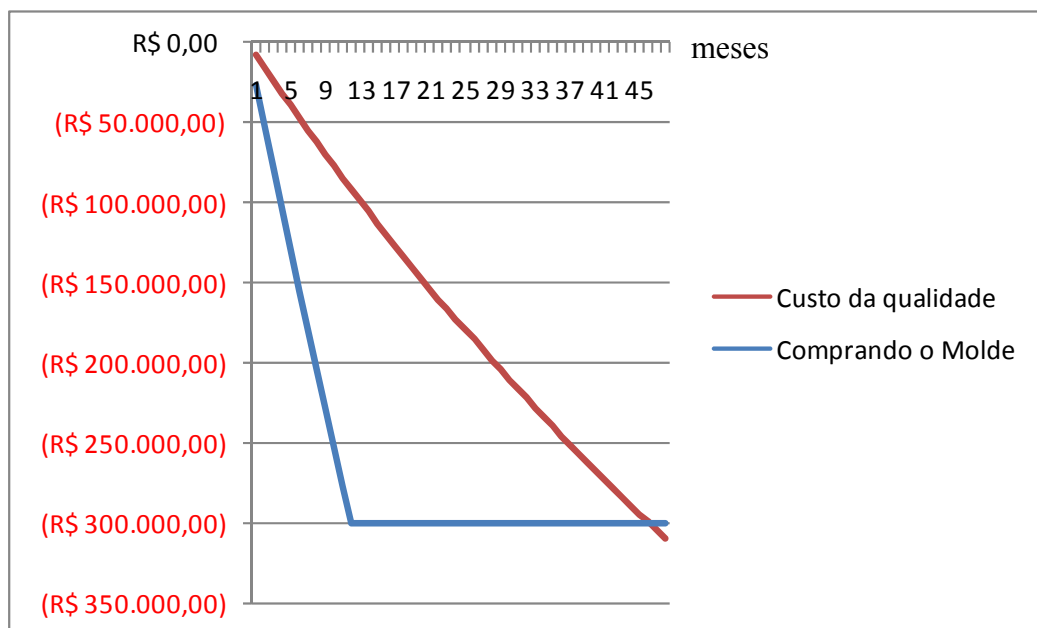
Custo da qualidade: ~R\$8.000,00 por mês (de acordo com esquema hipotético abaixo)

Figura 4.15: Cálculo de ganho esperado. Elaborado pelo autor.



A simples análise de custo no valor presente foi feita no gráfico abaixo, considerando o investimento no molde ou o custo da qualidade.

Figura 4.16: Comparação de custos de qualidade e compra de molde



Confere-se então que os investimentos se equivalem em aproximadamente quatro anos, ou seja, comprar o molde agora só terá o investimento retornado em 4 anos. Considerando que a vida útil destes moldes não irão ultrapassar mais de um ano, concluímos que a sugestão do gerente, mesmo precoce, estava certa, ao afirmar sobre o molde: “Espera quebrar que nós trocamos”.

4.4.5 PARÂMETROS DA TEMPERATURA

É necessário analisar e resolver a influência forte detectada no Diagrama de Matriz, de má formação causada na estufa. Para isso deve-se verificar se a temperatura influencia nas variáveis de saída (Y) estudadas e, se afirmativo, determinar uma faixa ideal para se trabalhar. Esse problema remete em princípio a aplicação de um delineamento de experimentos, mas não é necessário aplicar toda a metodologia de um DOE, pois se trata, na verdade, de um problema mais simples, restrito, com apenas um fator importante, a temperatura. Um estudo de análise de variância pode tranquilamente mostrar se há diferença nas médias nas diferentes temperaturas. Adotaremos o teste de hipótese de igualdade de várias médias (visto em 3.5.3).

Explicando rapidamente o funcionamento da máquina, a bobina passa por uma região de aquecimento antes da termoformagem no molde. Esse aquecimento é feito por 12 fileiras de resistências superiores e 12 fileiras de resistências inferiores. A máquina tem uma escala nominal de temperaturas para se trabalhar, e os operadores sabem que uma variação de 7 graus já é mais do que suficiente para derreter a matéria prima ou, no caso frio, dificultar a formação do pote por resistência mecânica.

Figura 4.17: Dados dos experimentos realizados. Elaborado pelo autor.

Temperatura Absoluta									
Inferior		Superior							
R11	R12	R11	R12	Temperatura Relativa	Cavidade	Altura	Peso	Aba	Comprimento
359	459	335	430	6	62	81,3	15,2	2,7	122,6
359	459	335	430	6	64	81,3	15,3	2,8	122,7
362	462	338	433	3	62	81,5	15,0	2,7	123,5
362	462	338	433	3	64	81,6	15,2	2,9	123,2
365	465	341	436	0	62	81,6	15,6	3,1	122,1
365	465	341	436	0	64	81,5	15,4	2,7	122,8
368	468	344	439	-3	62	81,6	15,8	3,1	122,5
368	468	344	439	-3	64	81,4	15,6	2,8	122,8
374	474	350	445	-6	62	81,4	15,6	3,0	122,7
374	474	350	445	-6	64	81,3	15,5	2,8	122,8

Foi feito como auxílio do software Ms. Excel uma ANOVA, com fator duplo, sem repetição. A justificativa é que, mesmo importando apenas a diferença entre temperaturas, é importante desconsiderar a incidência da variação entre cavidades. Assim, se a variação entre cavidades for desconsiderada ($F_{calc} < F_{crit}$), podemos ver se existe variação entre temperaturas.

Foi feito então um levantamento de dados (ver figura 4.17), variando o fator temperatura em 5 níveis diferentes, medindo sempre duas cavidades. Foi adotado o *modelo de efeitos fixos* visto na revisão bibliográfica para garantir que todos extremos fossem medidos e para simplificar a amostragem, uma vez que, como o intervalo é de apenas 13 graus Celsius (de -6 a +6), ter 5 deles registrados (-6, -3, 0, +3 e +6) já é considerado bom, e evita erros na amostragem. Os resultados deste experimento são demonstrados no quadro abaixo:

A seguir temos a análise dos resultados:

ALTURA

Figura 4.18: Formato dos dados usados para ANOVA. Temperatura como colunas,

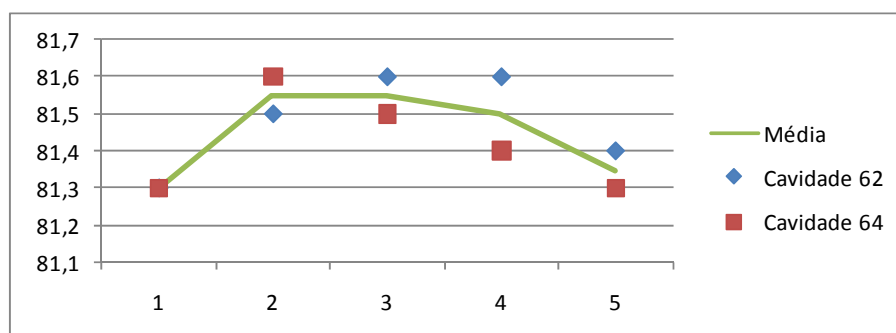
	T (6)	T (3)	T (0)	T (-3)	T (-6)
Cavidade 62	2,7	2,7	3,1	3,1	3,0
Cavidade 64	2,8	2,9	2,7	2,8	2,8

Tabela 4-10: ANOVA ALTURA (Fator duplo sem repetição)

<i>RESUMO</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
Cavidade 62	5	407,40	81,48	0,017
Cavidade 64	5	407,10	81,42	0,017
T (6)	2	162,60	81,30	0,000
T (3)	2	163,10	81,55	0,005
T (0)	2	163,10	81,55	0,005
T (-3)	2	163,00	81,50	0,020
T (-6)	2	162,70	81,35	0,005

ANOVA						
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Linhas	0,009	1	0,009	1,385	0,305	7,709
Colunas	0,110	4	0,027	4,231	0,096	6,388
Erro	0,026	4	0,006			
Total	0,145	9				

Figura 4.19: Variação da altura em função da temperatura



A variação de temperatura não acusou diferença significativa na altura.

PESO

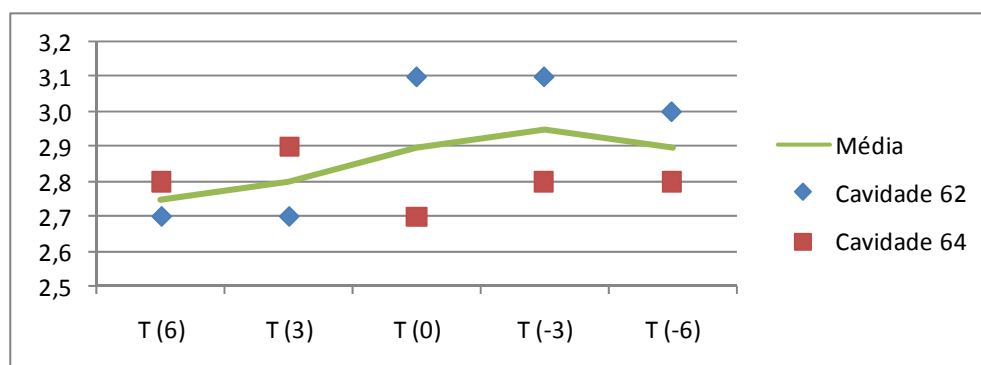
Tabela 4-11: ANOVA PESO (Fator duplo sem repetição)

<i>RESUMO</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
Cavidade 62	5	77,20	15,44	0,108
Cavidade 64	5	77,00	15,40	0,025
T (6)	2	30,50	15,25	0,005
T (3)	2	30,20	15,10	0,020
T (0)	2	31,00	15,50	0,020
T (-3)	2	31,40	15,70	0,020
T (-6)	2	31,10	15,55	0,005

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Linhas	0,004	1	0,004	0,242	0,648	7,709
Colunas	0,466	4	0,117	7,061	0,042	6,388
Erro	0,066	4	0,017			
Total	0,536	9				

Figura 4.20: Variação do peso em função da temperatura



A variação de temperatura acusou diferença significativa no peso.

ALTURA DA ABA

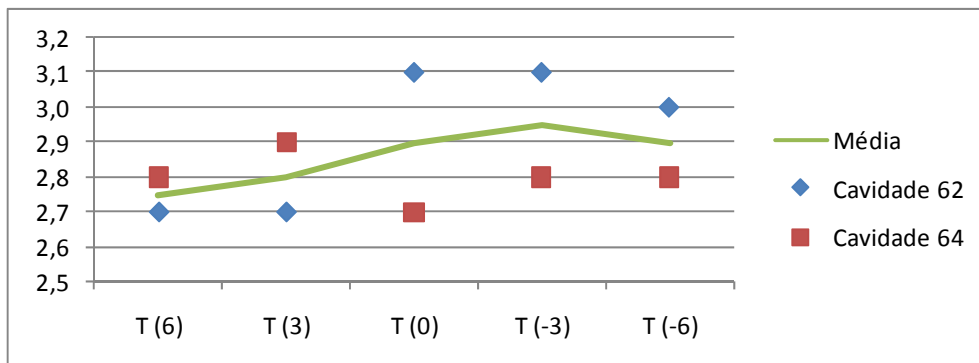
Tabela 4-12: ANOVA ALTURA DA ABA (Fator duplo sem repetição)

<i>RESUMO</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
Cavidade 62	5	14,60	2,92	0,042
Cavidade 64	5	14,00	2,80	0,005
T (6)	2	5,50	2,75	0,005
T (3)	2	5,60	2,80	0,020
T (0)	2	5,80	2,90	0,080
T (-3)	2	5,90	2,95	0,045
T (-6)	2	5,80	2,90	0,020

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Linhas	0,036	1	0,036	1,075	0,358	7,709
Colunas	0,054	4	0,014	0,403	0,800	6,388
Erro	0,134	4	0,034			
Total	0,224	9				

Figura 4.21: Variação da altura da aba em função da temperatura



A variação de temperatura não acusou diferença significativa na altura da aba.

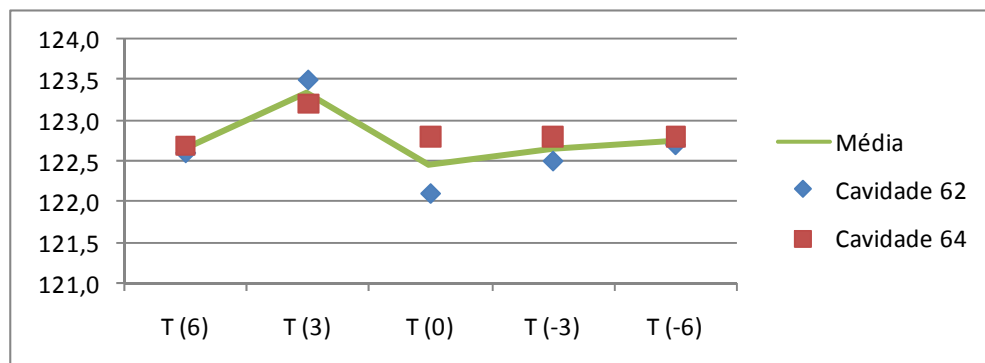
COMPRIMENTO

Tabela 4-13: ANOVA COMPRIMENTO (Fator duplo sem repetição)

<i>RESUMO</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
Cavidade 62	5	613,40	122,68	0,262
Cavidade 64	5	614,30	122,86	0,038
T (6)	2	245,30	122,65	0,005
T (3)	2	246,70	123,35	0,045
T (0)	2	244,90	122,45	0,245
T (-3)	2	245,30	122,65	0,045
T (-6)	2	245,50	122,75	0,005

ANOVA						
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Linhas	0,081	1	0,081	1,227	0,330	7,709
Colunas	0,936	4	0,234	3,545	0,124	6,388
Erro	0,264	4	0,066			
Total	1,281	9				

Figura 4.22: Variação do comprimento em função da temperatura



A variação de temperatura não acusou diferença no comprimento.

Resumindo, apenas o peso teve uma alteração significativa no resultado, de acordo com as ANOVAs feitas acima. De qualquer forma, quando se analisa o gráfico da variação do peso pela temperatura (figura 4.19), nota-se que existiu uma interação cruzada entre as cavidades, o que dificulta uma conclusão com apenas dois dados. Foi provado apenas que as médias são diferentes, mas não é uma correlação óbvia. Assim não podemos tirar conclusões sobre os parâmetros de regulação da temperatura com essa metodologia.

4.5 C - Controle

Nesta fase do projeto busca-se, em primeiro lugar, manter o patamar obtido nas fases anteriores, mas também serve como base e indicador para novos ciclos de melhoria futura (Rotondaro et al, 2002).

Seguindo o roteiro proposto, temos que criar planos de resposta do processo (segundo indicadores) e documentar mudanças e novos métodos.

Para realização destas duas etapas serão criados e/ou conferidos os padrões operacionais do processo.

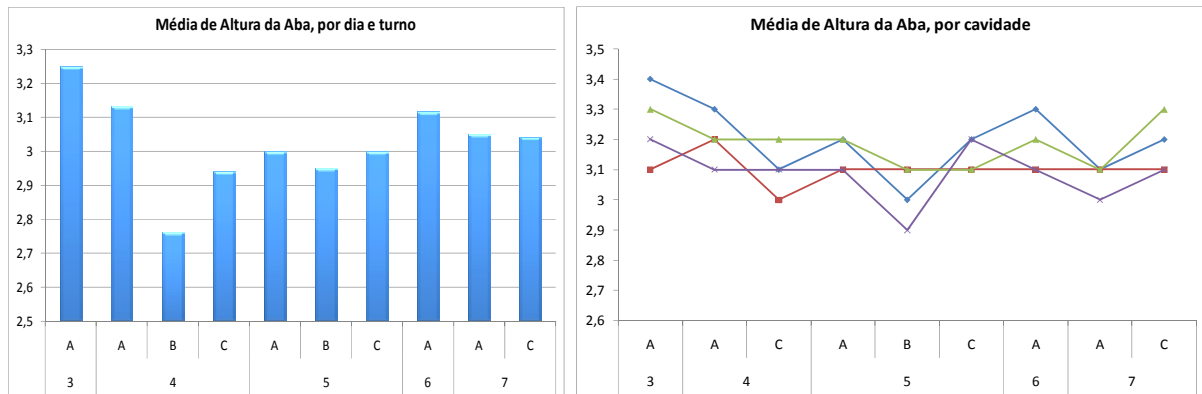
4.5.1 Sistema de resposta do processo

O novo sistema de informações desenvolvido pelo autor para o registro de ensaios do laboratório, apresentado na Medição (ver anexo 01), permite o fornecimento de diversos relatórios gerenciais. A ferramenta *Tabela Dinâmica* do *Microsoft Excel* permite relacionar as 14 variáveis do processo $\binom{n}{n}$ (14 variáveis da figura do anexo 01), ou seja, aplicando qualquer

filtro necessário, classificando em qualquer ordem, considerando qualquer hipótese a ser tirada dos dados. Esta ferramenta é muito poderosa para analisar dados relacionados, de forma rápida e eficaz. O sistema funciona a curto e longo prazo, com gráficos temporais e relatórios gerenciais mais complexos, respectivamente.

Todo o sistema foi ensinado para a gerência pelo próprio autor e uma simulação mostrou que se pode fazer qualquer relatório gráfico em no máximo cinco minutos. A expectativa é que se gastem duas horas por mês para avaliar os aspectos importantes ocorridos no mês. Segue abaixo um modelo de gráfico gerado automaticamente no novo sistema.

Figura 4.23: Exemplos de gráfico gerado pelo sistema novo de registro de dados.



Vamos supor que tenha vindo uma reclamação de cliente sobre o fechamento fraco da tampa em um lote. Sabe-se que o lote foi produzido entre os dias 3 e 7 do mês, assim é feito um levantamento temporal dos valores tirados da altura da aba nestes dias. No gráfico temos a detecção (hipotética) de comportamento anormal no turno B do dia 4, que foi se estabilizando aos poucos. Assim já se sabe que não é necessário retrabalhar o lote inteiro, apenas parte dele. O segundo exemplo mostra o comportamento de diferentes cavidades de uma máquina ao longo do tempo. Este pode servir como resposta rápida de processo, sendo avaliado diariamente, tomando medidas corretivas ou até detectando possíveis tendências.

4.5.2 Padrões Operacionais

“Se fossemos esperar que todos estivessem no mesmo nível, jamais chegaríamos a lugar nenhum”; Crosby (1990, pag105) explica que a existência dos padrões é essencial para se estabelecer patamares mínimos de qualidade na operação, ou seja, como sempre há um meio melhor de atingir algo, esse meio deve ser registrado para se tornar o novo padrão. Se não existe um padrão, não é possível melhorá-lo.

Como já citado, a empresa já adota um sistema baseado no TPM, e a gestão autônoma das máquinas elaborou os padrões de limpeza, inspeção e lubrificação, assim como seus padrões operacionais e os respectivos sistemas de controle (gestão a vista e auditorias internas). Não cabe a este trabalho reavaliar os padrões existentes (alguns elaborados com a própria participação do autor), mas sim avaliar sua obediência.

Gestão a vista

As fichas de controle, para saber se os padrões foram seguidos são assinadas pelos operadores diariamente e ficam expostas na máquina. Todas as fichas de controle dos padrões estavam devidamente preenchidas, mostrando que os operadores se responsabilizando pela limpeza e inspeção, mas muitas vezes não é o que se observa na máquina. Muitos operadores ainda vêem tais tarefas como burocracia e assinam a ficha porque “a ISO pede”.

Auditoria interna

Uma vez que os operadores dizem que seguem os padrões, nos resta conferir se seguem da maneira correta. A auditoria interna da administração intermediária é o meio mais usual para esta tarefa. “Não há motivo para não se levar os requisitos a sério, e as pessoas agirão desta forma quando for nisso que a organização crê” (Crosby, 1990).

Deve-se reavaliar o programa de auditoria interna e, principalmente, o quanto os líderes de área estão dando importância para o cumprimento dos padrões. Antes de se tomar ações punitivas, como advertências, deve-se primeiro verificar se os atores do processo consideram o padrão válido e, se necessário, refazê-lo.

Esse controle não é responsabilidade do setor da qualidade, é uma diretriz de toda a organização. Mais uma vez nos encontramos no paradoxo da educação dos funcionários, uma vez que “as pessoas devem embarcar na missão da qualidade porque assim desejam, não porque o chefe as obriga” (Crosby, 1990 pag170).

4.5.3 CEP

A implantação do Controle Estatístico não é aconselhável neste processo pelos seguintes motivos:

- O objetivo de diagnóstico do controle estatístico é inviabilizado pelo tempo de espera (resfriamento) da embalagem explicada no item 6.2.1. Os resultados dos testes chegam após a produção de outras milhares de embalagens, tornando-os inutilizáveis.
- A velocidade da produção (~200 potes/minuto.máquina) dificulta a tiragem de um número de amostra significativa. Essa discrepância entre produção e amostragem inviabiliza o CEP. “Podemos sempre fazer qualquer processo parecer estar sob controle estatístico apenas aumentando o intervalo entre as observações na amostra” (Montgomery, 2004 pag. 106).
- Considerado uma ferramenta para facilitar o controle de saídas, ele pode complicar quando temos muitas saídas (muitos testes), como visto no item 6.2.1.
- Foi provado que o processo não está sob controle estatístico (item do Box-Plot). Faz-se necessário algumas ações para estabilizar o processo antes de se pensar em uma implantação do CEP.

PARTE I INTRODUÇÃO

PARTE II DEFINIÇÃO DO TEMA

PARTE III REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

PARTE IV APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

PARTE V DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

5. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

5.1 Discussão e avaliação crítica dos resultados

Os resultados gerados para a empresa, como vistos, não foram imediatos, mas muito foi agregado no conhecimento do processo e na aprendizagem de novas metodologias por parte da empresa. O novo sistema de coleta de dados, já implantado, tornou muito simples uma série de controles gerenciais antes inexistentes na empresa. Estes controles são base para novos esforços de melhoria contínua.

A troca do molde, causa raiz comprovada na análise, infelizmente não superou o retorno financeiro do investimento de um novo molde, mas certamente evidenciou alguns problemas e quantificou o quanto a qualidade está custando para empresa.

O reforço dos procedimentos e da etiquetagem, de certa forma apenas retificou para a gerência a importância de se continuar com o programa de Manutenção Autônoma, desenvolvido em praticamente todos os equipamentos da empresa (implantado pela consultoria do estágio - Efeso).

A análise de variância da temperatura mostrou que o único fator controlável continuamente e de forma simples pelos operadores, a temperatura, não é responsável pela má formação dos potes de acordo com as variáveis quantitativas, apenas qualitativas. A detecção da diferença de médias no caso do peso não pode concluir nada, uma vez que tivemos um comportamento invertido das cavidades com o aumento da temperatura. Para se concluir algo com mais precisão seria necessário a repetição do experimento com mais replicações, o que não é mais viável no cronograma de desenvolvimento deste documento.

Em uma hipótese audaciosa, Ishikawa (1985, pag 197) diz que “Noventa e cinco por cento dos problemas de uma companhia podem ser resolvidos com as Sete Ferramentas da Qualidade”. Essa afirmação parte de uma crítica direta aos problemas relacionados com a utilização de métodos estatísticos na indústria, a saber:

1. Dados falsos, artificiais, inventados, sem confiabilidade;
2. Métodos ruins de coleta de dados;
3. Interpretação errada de dados;
4. Dados anormais, comuns, que podem ser ou não outliers;
5. Robustez: adequação a requisitos estatísticos para algumas metodologias, como normal.
6. Aplicação errada do método

Praticamente todos os itens são relacionados com problemas culturais da organização de não compreender claramente as metodologias e implantá-las por uma obrigatoriedade da função, imposta pela diretoria, por exemplo. Temos que admitir que até este trabalho está sujeito a erros como os números 1, 2 e 4, pois muitos dados foram fornecidos ou coletados por terceiros, sem acompanhamento total do autor. Ishikawa (1985, pag 198) separa as organizações em três categorias de acordo com a intimidade e a permissividade do uso de métodos estatísticos:

1. **Métodos Estatísticos Elementares** - As Sete Ferramentas
2. **Métodos Estatísticos Intermediários** - Teorias de amostragem, testes e estimativas estatísticas, testes de sensibilidade, delineamento de experimentos;
3. **Métodos Estatísticos Avançados** – Análises multivariadas, DOE avançados, pesquisa operacional, todos com plataformas computacionais.

Podemos considerar a Empresa “E” certamente na primeira classificação, em uma fase de transição para a segunda. Não que os métodos estatísticos mais avançados não sejam eficientes; Ishikawa (1985) apenas cita que a falta de familiaridade com os métodos avançados e a existência de problemas muito mais triviais são os fatores que mantêm a maioria das organizações no primeiro patamar (métodos estatísticos elementares). O caso estudado não é diferente, a empresa não possui nenhum especialista, não tem um sistema robusto de coleta de dados e possui a maioria dos problemas triviais, como falta de

manutenção das condições básicas dos equipamentos. “Ao menos que a pessoa domine completamente as sete ferramentas, não se pode esperar dela o uso de ferramentas mais sofisticadas” (Ishikawa, 1985 pag 204). É tudo questão de aplicar a ferramenta certa no lugar certo, assim como não se mede esferas com paquímetro, não se mata um elefante com arma de precisão ou não se mata uma formiga com uma machado.

Outro fator sempre citado e também vivenciado neste trabalho é a importância do envolvimento da alta administração no processo, administrando e sendo exemplo. Muitas vezes pôde-se realizar tranquilamente uma etapa com o auxílio da gerência, sendo que em outras, semanas foram perdidas buscando-se meios sem este mesmo auxílio. O exemplo passado também é essencial, Crosby (1990) “costumava ganhar muitos almoços de graça apostando com diretores-gerais que podia encontrar alguém violando uma norma de segurança durante um giro por suas instalações. Era sempre o gerente geral”. Durante este trabalho também foram presenciadas várias atitudes meramente corretivas da administração. “Quando o gerenciamento estimula procedimentos *band-aids* os empregados perdem confiança nele e no processo” (Crosby, 1990).

5.2 Avaliação Crítica da Bibliografia

A maior dificuldade encontrada neste trabalho foi certamente saber como lidar com um problema tão complexo e abrangente, e, mesmo com uma grande caixa de ferramentas na mão, pouco se sabe sobre quando exatamente usá-las. Todas as bibliografias consultadas possuem um mérito em relação ao respectivo assunto, mas carecem profundamente de uma visão mais sistêmica dos problemas. Cada referência só ensina apenas uma ferramenta isolada, como se a própria fosse capaz de resolver qualquer situação. Salvo a exceção de Pande que confronta diretamente o Seis Sigma com o TQM. Uma ferramenta isolada é explicada no momento que todos os exemplos dados sempre são resolvidos com a própria ferramenta, limitando a resolução do problema por outros caminhos. Os exemplos acabam dando sempre certo, sempre significativos, sempre correlacionados, sempre recompensantes, etc. Estas bibliografias acabam então ensinando as ferramentas individuais, mas não como tratá-las umas com as outras. Uma provável explicação para tal crítica é o fato dos autores nunca delimitarem a aplicação de sua metodologia, considerando-a sempre a melhor, como se quisessem “vender mais o peixe”.

As bibliografias fazem considerações como se fossem sempre reais, desconsiderando um pouco o bom senso. Por exemplo, qualquer livro de DOE remete que as variáveis de entrada podem causar interferência entre si, mas não advertem que esta interação pode não fazer o menor sentido. Isto resulta em um trabalho extra, que possivelmente não terá ações, independentemente do resultado da análise. Os dados devem servir para responder hipóteses do engenheiro, e não para dizer ao engenheiro do que cuidar.

A vida real traz problemas complexos que não estão descritos em livros, a experiência no assunto é insubstituível, fato que inibe o desenvolvimento de um trabalho de formatura, que deve ser baseado fortemente em uma teoria. Esta crítica remete-se construtivamente ao curso de Engenharia de Produção da EPUSP, uma vez já dito pela coordenação do TF que este também serve como uma forma de auto-avaliação do curso para os professores.

5.3 Conclusões

Independentemente de resultados alcançados, antes de tudo, este trabalho certamente atingiu seu objetivo primordial, estudar e aplicar de forma estruturada uma metodologia relacionada à Engenharia de Produção.

A qualidade de um produto possui relação direta com as condições em que é produzido, fazendo-se necessária a preocupação com o desempenho dos processos produtivos. Para tanto o DMAIC se mostrou eficaz como roteiro para o delineamento do projeto. No entanto, como discutido na análise crítica dos resultados, talvez a metodologia tenha se mostrado eficaz, mas pouco eficiente, pois suas ferramentas mais avançadas não foram utilizadas por diversos motivos citados ao longo do trabalho e, muito do que foi desenvolvido, foi fundamentado nas ferramentas básicas e gerenciais da qualidade.

Um mérito do trabalho foi confrontar algumas metodologias de qualidade, como TPM, TQM e Seis Sigma, buscando suas particularidades, fazendo uma análise crítica da bibliografia e concluindo que, por tratarmos de ferramentas básicas, qualquer uma das metodologias citadas poderiam ter sido aplicadas, com resultados equivalentes e satisfatórios.

“O sucesso do processo de melhoria da qualidade não depende de nenhum poder evangélico possuído pelos especialistas em qualidade. Ele depende da educação e da implementação conduzidas de uma maneira séria e metódica” (Crosby, 1990 pag 187).

Foi muito gratificante o uso do Seis Sigma para poder chegar a tal conclusão e vemos que nem sempre as hipóteses são provadas ou o que se pensava óbvio não faz sentido, como no caso da variação da temperatura.

A Empresa “E” pode avaliar as novas possibilidades de ferramentas a se aplicar, usar o novo sistema de registro de ensaios e implementar as ações pendentes se achar conveniente. A implantação do WCOM (baseado no TPM) na Empresa é totalmente apoiada após o desenvolvimento deste trabalho.

A busca incessante da qualidade continua, começando um ciclo após o outro, pois o Kaizen é fundamental para as empresas que desejam permanecer competitivas.

FONTES

BRASIL. Professores do Departamento de Engenharia de Produção a Escola Politécnica da USP e Fundação Alberto Carlos Vanzolini. Coordenador: Contador, J. C.. **Gestão de Operações: A Engenharia de Produção a serviço da modernização da empresa.** São Paulo: Editora Blücher, 1998. 593 p. (2.^a Ed.)

Calegare, A. J. A., **Introdução ao Delineamento de Experimentos.** Editora Blücher, 2001. 130 p.

Costa Neto, P. L. O., **Estatística.** São Paulo: Editora Blücher, 2002. 262 p. (2.^a Ed.)

Crosby, P. B., **Qualidade: Falando Sério.** São Paulo: McGraw Hill, 1990. 201 pag.

Efeso Consulting a Solving Group Company. Londres. Apresenta dados sobre o histórico da empresa. Disponível em <<http://www.efeso.com>>. Acessado em: 09 jan. 2008.

Ishikawa, K., **What is Total Quality Control.** Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-Hall, Inc., 1985, 215 pag.

Juran, J. M.; Gryna, F. M., **Controle da Qualidade - Handbook: Métodos Especiais de Apoio à Qualidade.** São Paulo: Makron Books, 1993. Vol 6, 488 p.

Juran, J. M.; Gryna, F. M., **Controle da Qualidade - Handbook: Métodos Especiais de Apoio à Qualidade.** São Paulo: Makron Books, 1993. Vol 7, 193 p.

Lourenço Filho, R. C. B., **Controle Estatístico de Qualidade.** Rio de Janeiro: LTC, 1982. 223 p.

Miyake, D. I., **Programa de Melhoria da Produtividade e Qualidade: Um Estudo Comparativo dos Modelos JIT, TQC e TPM.** 1993. 163p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

Montgomery, D. C., **Introdução ao Controle Estatístico de Qualidade.** Rio de Janeiro: LTC, 2004. 513 p.

Nakajima, S. **Introdução ao TPM**. São Paulo: IMC International Sistemas Educativos, 1989.

Pande, P. S.; Neuman, R. P.; Cavanagh, R. R. **Estratégia Seis Sigma: Como a GE, a Motorola e outras grandes empresas estão aguçando seu desempenho**. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., 2001. 472p.

Ramos, A. W., **CEP para processos contínuos e em bateladas**. São Paulo: Editora Blücher, 2000. 130 p.

Ramos, A. W. **Apostila PRO2712: Estatística II**. São Paulo: EPUSP – Departamento de Engenharia de Produção, 2005.

Rotondaro, R. G. et al. **Seis Sigma: Estratégia Gerencial para a Melhoria de Processos, Produtos e Serviços**. São Paulo: Editora Atlas, 2002. 375 p.

Susuki, T., **TPM: In Process Industries**. Portland, Oregon, Productivity Press 1994.

Takahash, Y; Osaka, T. **TPM: Total Productive Maintenance**. Tokyo: Asian Productivity Organization, 1990.

Vicentin, D.L.V. **O Sucesso Através da Combinação de Seis Sigma, Gerenciamento por Processos e TQM**. 2005. Trabalho de Formatura- EPUSP, São Paulo, 2005.

Werkema, M. C. C. **Criando a Cultura Seis Sigma**. Nova Lima: Werkema Editora, 2004. 256p.

ANEXOS

ANEXO 01: Sistema de Registro de Ensaios da Qualidade

Figura 5.1: Interface visual do novo sistema de registro de dados. Elaborado pelo autor.

[illegible]

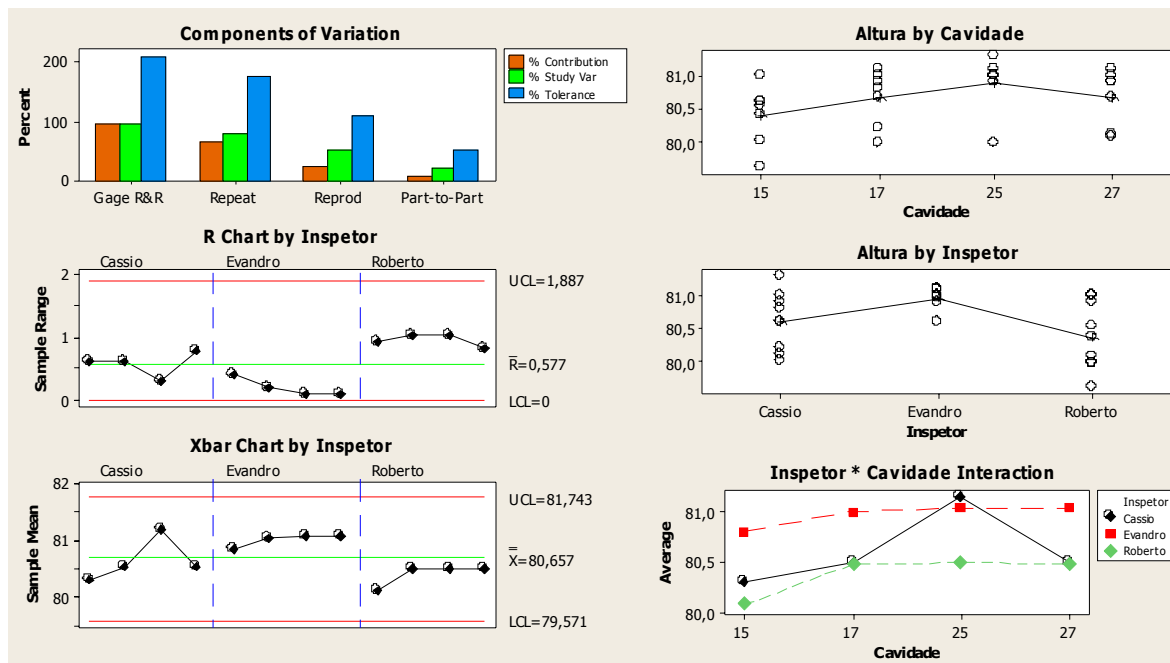
Preenchimento
ergonômico e com
dados pré-validados.

Relatórios gerenciais
gerados
automaticamente

Botão que roda macro
e inclui ensaio no
banco de dados
automaticamente

ANEXO 02: Análises R&R

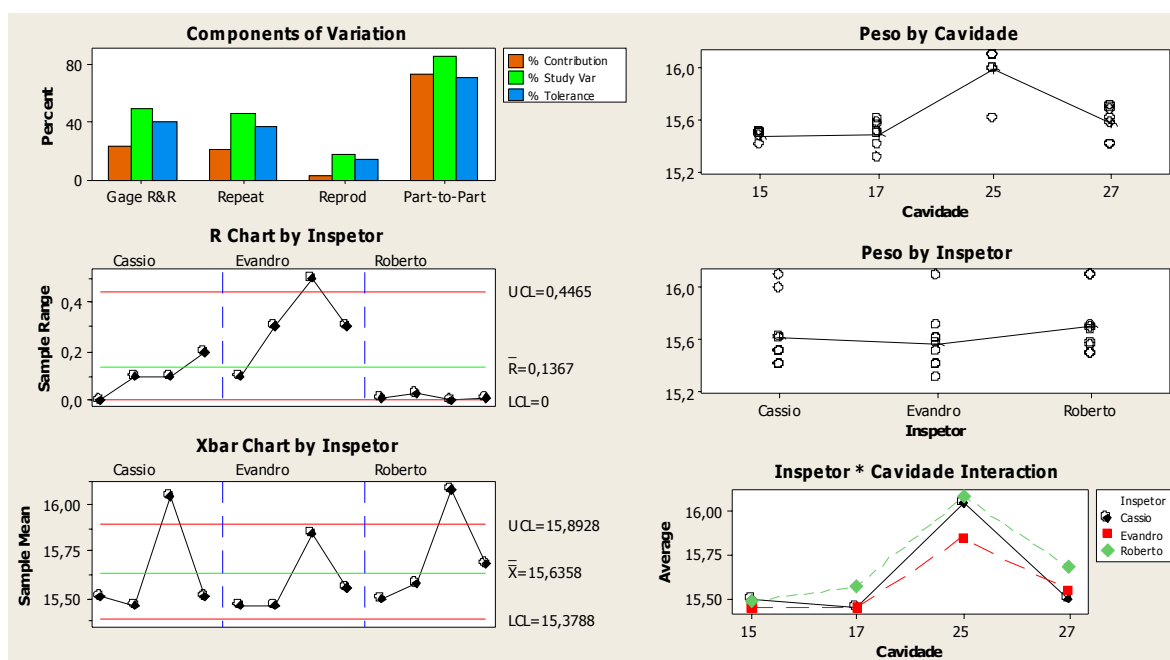
Figura 5.2: Gage R&R (ANOVA) para Altura



Ações tomadas:

- Discussão com Cássio e Roberto sobre as maiores variabilidades das medições (Repetitividade) com o paquímetro. Medir com mais uma casa decimal.

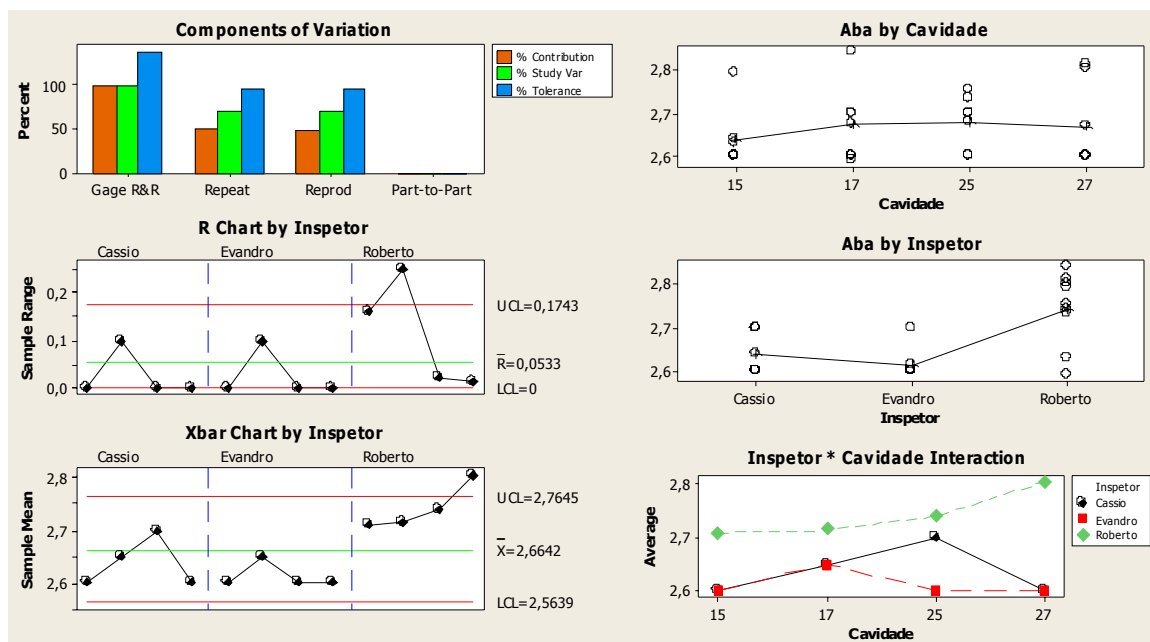
Figura 5.3: Gage R&R (ANOVA) para o Peso



Ações tomadas:

- i. Discussão com Evandro sobre possível erro no procedimento na calibração da balança para ter um ponto fora de controle (na amplitude).

Figura 5.4: Gage R&R (ANOVA) para Altura da Aba



Ações tomadas:

- i. Discussão com todos inspetores sobre a diferença grande das medições sempre maior registrada pelo Roberto.
- ii. Verificação dos procedimentos do Roberto com o paquímetro na aba, dado as grandes amplitudes registradas.

ANEXO 03: Tabela usada para resolução computacional do Teste de Hipóteses

<i>Elemento (j)</i>		Tratamento (i)					
		1	2	3	.	a	
1		Y_{11}	Y_{21}	Y_{31}	.	Y_{a1}	
2		Y_{12}	Y_{22}	Y_{32}	.	Y_{a2}	
.		.	.	.	.	.	
n		Y_{1n}	Y_{2n}	Y_{3n}	.	Y_{an}	Valores e médias globais
A - somatórios	T_i	T_1	T_2	T_3	.	T_a	$T = \sum_{i=1}^a T_i$
B- médias	$\bar{Y}_i = \frac{T_i}{n}$	$\bar{Y}_1$	$\bar{Y}_2$	$\bar{Y}_3$	.	$\bar{Y}_a$	$\bar{Y} = \frac{(\sum_{i=1}^a \bar{Y}_i)}{a} = \frac{T}{a \cdot n}$
C – quadrados dos somatórios	T_i^2	T_1^2	T_2^2	T_3^2	.	T_a^2	$\sum_{i=1}^a T_i^2$
D – soma dos quadrados dos elementos	Q_i	Q_1	Q_2	Q_3	.	Q_a	$Q = \sum_{i=1}^a Q_i$

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrados Médios	
Entre	$SQE = \frac{\sum_{i=1}^a T_i^2}{n} - \frac{T^2}{a \cdot n}$	$a - 1$	$S_E^2 = \frac{SQE}{a - 1}$	$F_{calc} = \frac{S_E^2}{S_R^2}$
Residual (dentro)	$SQR = Q - \frac{\sum_{i=1}^a T_i^2}{n}$	$a \cdot (n - 1)$	$S_R^2 = \frac{SQR}{a(n - 1)}$	
Total	$SQT = Q - \frac{T^2}{a \cdot n}$	$a \cdot n - 1$		

Tabela 5-1: Modelo de resolução computacional do Teste de Hipótese de igualdade de várias médias. Fonte: Ramos, 2001.