

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA - ITEC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Marcela Seixas Ferreira

AUMENTO DA PRODUTIVIDADE: Utilizando a metodologia *Six Sigma e Lógica Fuzzy*, um estudo de caso em uma empresa do Pólo Industrial de Manaus – PIM.

Belém - PA
2011

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA - ITEC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA ELÉTRICA

AUMENTO DA PRODUTIVIDADE: Utilizando a metodologia *Six Sigma e Lógica Fuzzy*, um estudo de caso em uma empresa do Pólo Industrial de Manaus – PIM.

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica com ênfase em Processos Industriais.

MARCELA SEIXAS FERREIRA

ORIENTADOR: PROF. DR. ORLANDO FONSECA SILVA

Belém - PA
2011

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA - ITEC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA ELÉTRICA

MARCELA SEIXAS FERREIRA

TÍTULO: AUMENTO DA PRODUTIVIDADE: Utilizando a metodologia *Six Sigma* e *Lógica Fuzzy*, um estudo de caso em uma empresa do Pólo Industrial de Manaus – PIM.

DEFESA DO MESTRADO

Esta dissertação foi julgada e aprovada para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Elétrica na Área de Concentração em Processos Industriais do Programa de Pós-Graduação *Strictu Sensu* em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pará – ITEC – UFPA.**

Belém-PA, 25 de Fevereiro de 2011.

Prof. Dr. José Antônio de Souza Silva - UFPA
Coordenador do CMPPI

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Orlando Fonseca Silva
Orientador – UFPA

Prof. Dr. Sandro Dimy Barbosa Bitar
UFAM

Prof. Dr. Jandecy Cabral Leite
ITEGAM

Prof. Dr. Carlos Tavares da Costa Junior
UFPA

DEDICATÓRIA

Ao meu pai, Aurélio Reis Ferreira, que muito me ensina com seus exemplos de vida.

A minha mãe, Ana Maria S. Ferreira, pelo amor e dedicação as suas filhas.

Ao meu esposo, Cehasli, pelo amor e compreensão na elaboração deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Primeiro a Deus por proporcionar-me forças e saúde para prosseguir diante dos obstáculos.

A Universidade Federal do Pará – UFPA

Ao Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia – ITEGAM

Aos Professores Dr. Orlando Fonseca Silva, Dr. Carlos Tavares da Costa Junior e Drd. Jandecy Cabral Leite, pela condução e orientação com excelência durante o curso.

Aos meus pais: Aurélio Reis Ferreira e Ana Maria Oliveira Seixas Ferreira.

Ao meu querido esposo Cehasli de Castro pelo incentivo.

As minhas irmãs: Márcia e Alessandra Ferreira.

E a todos que me ajudaram nesta conquista.

Epígrafe:

*“Bem-aventurado o homem
que acha sabedoria, e o homem
que adquire conhecimento”*

Prov. 3.13

RESUMO

FERREIRA, S. M. **AUMENTO DA PRODUTIVIDADE: Utilizando a metodologia *Six Sigma* e *Lógica Fuzzy*, um estudo de caso em uma empresa do Pólo Industrial de Manaus – PIM.** Dissertação de Mestrado. Instituto de Tecnologia – Universidade Federal do Pará, 2011, p. 100.

Este trabalho utiliza a metodologia *six sigma* com o objetivo de aumentar a produtividade da Linha de LCD (Liquid Crystal Display) em uma fábrica do Pólo Industrial de Manaus - PIM e um sistema de inferência *fuzzy* para mensurar o aumento dessa produtividade, onde foram identificados vários parâmetros baseados na metodologia *six sigma*. Dentre os quais, conforme grau de relevância dos especialistas deste estudo, pode-se destacar: desperdícios, capacidade produtiva e estudo de tempos. Ressaltando ainda que o sistema proposto seja de grande importância para profissionais e pesquisadores da gestão da produção, os quais desejam resultados que reduzam custos e conseqüentemente aumente os lucros da organização.

Palavras-chave: *Six Sigma, Produtividade, Lógica Fuzzy.*

ABSTRACT

FERREIRA, S. M. **INCREASED PRODUCTIVITY: Using the Six Sigma methodology and Fuzzy Logic, a case study in a company of the Pólo Industrial de Manaus - PIM.** Dissertation. Institute of Technology - Federal University of Pará, 2011, p. 100.

This study uses six sigma methodology in order to increase the productivity of the Line of LCD (Liquid Crystal Display) in a factory in the Pólo Industrial de Manaus - PIM and a fuzzy inference system to measure the increase of productivity, where we identified several parameters based on the six sigma methodology. Among which, according to the degree of relevance of specialists in this study, we can highlight: waste, production capacity and time study. Emphasizing further that the proposed system is of great importance to practitioners and researchers of production management, who want results that reduce costs and therefore increase profits of the organization

Palavras-chave: *Six Sigma, Productivity, Fuzzy Logic.*

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PIM – Pólo Industrial de Manaus

LCD – *Liquid Crystal Display*

JIT – *Just in Time*

OPT – *Optimized Production Technology*

WIP – *Work in Process*

PDCA – *Plan, Do, Check, Action*

OPT – *Optimized Production Technology.*

LSE – Limite Superior de Especificação

LIE – Limite Inferior de Especificação

ppb – Parte por bilhão

DPMO – Defeito por milhão de oportunidades

BB's – *Black Belts*

DMAIC – *Define, measure, analyse, improve, control*

FMEA – *Failure, mode and effect analysis.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Delineamento da Pesquisa	19
Figura 2.1 - A estrutura do Sistema Toyota de Produção.....	31
Figura 2.2 - Desperdícios por Superprodução.....	33
Figura 2.3 - Desperdícios por Superprodução.....	33
Figura 2.4 - Redução dos estoques para expor os problemas do processo.....	36
Figura 2.5 - Empurrar e puxar a produção.....	38
Figura 2.6 - Ilustração de um gráfico de balanceamento.....	44
Figura 3.1 - Métrica Six Sigma.....	48
Figura 3.2 - Ciclo PDCA.....	51
Figura 3.3 - Ciclo DMAIC.....	52
Figura 4.1 - Variável Lingüística "Desperdícios"	62
Figura 4.2 - Exemplo de Função de Pertinência	63
Figura 4.3 - Tipos de Funções de Pertinência.....	63
Figura 4.4 - Função de Pertinência Triangular.....	64
Figura 4.5 - Função de Pertinência Trapezoidal.....	64
Figura 4.6 - Esquema Geral do Sistema Fuzzy.....	65
Figura 4.7 - Forma Geral de uma Base de Regras Fuzzy.....	66
Figura 5.1 - Vista aérea do parque fabril.....	69
Figura 5.2 - Lay-out da Unidade LCD.....	71
Figura 5.3 - Lay-out Simplificado do Processo.....	71
Figura 5.4 - Parâmetros e Etapas para execução do Projeto Seis Sigma.....	73
Figura 5.5 - Processo de Montagem.....	74
Figura 5.6 - Diagrama de Ishikawa.....	76
Figura 5.7 - Exemplos de Melhoria de Processo.....	79
Figura 5.8 - Exemplo de Melhoria de Processo.....	79
Figura 5.9 - Exemplo de Melhoria de Processo	80
Figura 5.10 - Exemplo de Melhoria de Processo.....	80
Figura 5.11 - Variáveis Lingüísticas de Entrada e Saída.....	83
Figura 5.12 - Variável Estudo de Caso.....	84
Figura 5.13 - Variável Capacidade Produtiva da Linha.....	84
Figura 5.14 - Variável Desperdícios.....	85

Figura 5.15 - Variável de Saída: Produtividade.....	86
Figura 5.16 - Evolução da Produtividade da Linha LCD03.....	87
Figura 5.17 – FMEA.....	88
Figura 5.18 - Resultado - dados estatísticos computados pelo Champion.....	89
Figura 5.19 - Visualizador de Regras em Lógica Fuzzy.....	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Medidas de Produtividade	43
Tabela 3.1 – Escala <i>Six Sigma</i>	48
Tabela 3.2 – Aplicações da Ferramenta no DMAIC.....	55
Tabela 5.1 – <i>Brainstorming</i>	75
Tabela 5.2 – Plano de Ação	78
Tabela 5.3 – Variáveis Lingüísticas.....	83

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 5.1 – Acompanhamento da Produtividade LCD03	72
Gráfico 5.2 – Cronometragem da Linha LCD03	77
Gráfico 5.3 – Cronometragem da Linha LCD03 após melhorias	81
Gráfico 5.4 – Evolução da Produtividade na Linha LCD03	82

SUMÁRIO

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO

1.1 RELEVÂNCIA DO TEMA.....	15
1.2 IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DO PROBLEMAS.....	16
1.3 JUSTIFICATIVA.....	16
1.4 OBJETIVOS.....	17
1.5 ESTRUTURA DOS CAPÍTULOS.....	18
1.6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	19

CAPÍTULO II – REFERÊNCIA TEÓRICO

2.1 ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO.....	24
2.2 SISTEMAS PRODUTIVOS.....	25
2.3 CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO.....	26
2.4 <i>LEAN MANUFACTURING</i>	28
2.5 ESTUDO DE TEMPOS E MOVIMENTOS.....	44
2.6 LOGÍSTICA.....	46

CAPÍTULO III – SIX SIGMA

3.1 <i>SIX SIGMA</i>	47
----------------------------	----

CAPÍTULO IV – LÓGICA FUZZY

4.1 LÓGICA <i>FUZZY</i>	58
-------------------------------	----

CAPÍTULO V – ESTUDO DE CASO

5.1 APLICAÇÃO DO ESTUDO DE CASO.....	68
--------------------------------------	----

CAPÍTULO VI – CONCLUSÕES

6.1 CONCLUSÕES.....	91
6.2 RECOMENDAÇÕES.....	94

REFERÊNCIAS	95
--------------------------	----

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO

1.1 RELEVÂNCIA DO TEMA

As organizações, a fim de acompanharem as mudanças e se adaptarem a nova configuração do mercado, procuram investir em novas tecnologias de processo e de gestão da produção. É dentro desse cenário de mudanças que a função da produção passa a ser uma grande aliada da estratégia da organização.

Tubino (2007) afirma que com a globalização da economia, acirrando a concorrência e o avanço tecnológico, propondo novas formas de fabricação, levaram as empresas a repensarem na sua estrutura de produção, pois aquelas que não adaptarem seus sistemas produtivos para melhoria contínua da produtividade não terão espaço no mercado, estando fadadas ao desaparecimento. Essa reestruturação passa pela busca incessante por otimizações de processos industriais, o que leva muitas pessoas a pesquisar e implantar várias técnicas, ferramentas e estratégias. E dentro dessas estratégias que visam aumentar a vantagem competitiva das organizações, está o *Six Sigma* (GUINATO, 2000).

O conceito *six sigma* foi inicialmente desenvolvido e utilizado pela Motorola, 1986, e conseqüentemente por outras grandes empresas como: General Eletric, Allied, Hewlett-Packard, etc. Para Guinato (2000) *six sigma* é uma ferramenta que auxilia a organização a entender e melhorar a competitividade dos seus processos, através do alinhamento com os requisitos do mercado, buscando a rentabilidade, através da redução de atividades que não agregam valor ao processo, ou seja, é um estudo científico que busca focar no desenvolvimento e entrega de produtos e/ou serviços próximo da perfeição. Do ponto de vista dos processos, trata-se de uma abordagem sistemática para reduzir erros que afetam pontos críticos para o cliente, aumentando sua satisfação e reduzindo custos operacionais.

É acompanhando esse contexto, que o estudo proposto baseia-se em aumentar a produtividade de uma linha de montagem do Pólo Industrial de Manaus

(PIM), utilizando a metodologia *Six Sigma* e propondo uma modelagem computacional: *Fuzzy*.

Os sistemas de produção modernos são muito complexos e requerem altos investimentos, e devido a essa complexidade é difícil prever o comportamento das possíveis variáveis que interligam os sistemas como: pessoas, máquinas, matéria-prima, transporte, etc. Em vista disso, outro aspecto que será tratado nesta dissertação é a modelagem computacional *fuzzy*, como proposta de análise dos fatores que podem prejudicar o aumento da produtividade em estudo.

1.2 IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DO PROBLEMA

Uma das principais dificuldades das empresas é o de ajustarem seus processos produtivos para atendimento das mudanças do mercado, de forma a proporcionar rapidez, maior flexibilidade, menor custo, maior qualidade e uma maior produtividade de seus processos.

A empresa em estudo deparou-se com dificuldades no atendimento de seu produto ao mercado e alcance das metas de produtividade, com isso, ela buscou soluções para os problemas enfrentados na linha de produção de LCD's (*Liquid Crystal Display*) baseado na metodologia *six sigma* e obtenção de uma base de regras que possa direcionar nas tomadas de decisões deste processo fabril.

A partir desta contextualização surge a questão da pesquisa: *Qual a influência da metodologia six sigma no processo de fabricação de LCD's e como podemos agilizar a investigação das causas utilizando uma modelagem computacional?*

1.3 JUSTIFICATIVA

Como justificativa, pode se afirmar que as ferramentas utilizadas no programa *six sigma* são baseadas na filosofia de melhoria contínua, no qual as empresas utilizam projetos para validar essa prática e até motivar as pessoas treinadas a desenvolver melhorias. Uma organização que utiliza essa metodologia ganha competitividade ao reduzir suas taxas de defeitos e erros durante o processo de fabricação, pois tem o objetivo de maximizar, alcançar e manter o sucesso comercial por meio da compreensão das necessidades dos clientes, tanto interno como externos. É um conceito que se concentra no produto e no cliente. É, portanto, uma metodologia estruturada que desenvolve a qualidade por meio da melhoria contínua dos processos envolvidos, levando em consideração todos os aspectos importantes de um negócio (PYZDEK, 2003).

Outra justificativa para propor uma modelagem computacional *fuzzy* é que a lógica *fuzzy* é uma ferramenta capaz de capturar informações imprecisas, em geral descritas em uma linguagem natural e converter-las para um formato numérico. Esta permite simular o processo do raciocínio humano e tomar decisões baseados em dados incertos (ZADEH, 1968). A lógica *fuzzy* é uma abordagem sugerida para tratar sistemas complexos, envolvendo tanto variáveis quantitativas e qualitativas sujeitas a variações probabilísticas relevantes ou descritas por bases de dados incompletas e diferentes. Seu processo decisório baseia-se em variáveis lingüísticas que simulam e replicam elementos do pensamento humano como: baixo, médio, alto ou aproximadamente, em torno de, dentre outros (KACPRZYK, 1997).

Os principais fatores que tornam indicada a utilização da lógica *fuzzy* para o controle de um processo industrial são: inexistência de um sistema de controle de processo, por ser demasiado complexo ou custoso o desenvolvimento; processo controlado por especialistas humanos; especialistas conseguem verbalizar as regras de controle do processo.

1.4 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo geral:

- Desenvolver um projeto *six sigma* visando aumento da produtividade na linha de fabricação de LCD e propor uma modelagem computacional para este processo.

Os objetivos específicos são:

- Descrever o passo a passo da aplicação da metodologia *six sigma* no processo de fabricação de LCD;

- Medir, em termos técnicos, a produtividade antes e depois do processo de montagem de LCD's no uso da metodologia e

- Propor uma base de regras, *fuzzy*, para investigação das possíveis causas que ameaçam a produtividade deste processo.

1.5 ESTRUTURA DOS CAPÍTULOS

O estudo está baseado em 5 capítulos:

No Capítulo I é apresentada a introdução com considerações acerca da relevância do tema e objetivos deste trabalho. Também neste capítulo são demonstrados todos os aspectos metodológicos através de suas técnicas e instrumentos precisos a fim de solucionar a problemática em questão.

O Capítulo II é composto pela fundamentação Teórica, onde são abordados os conceitos importantes que visam enriquecer esta dissertação e dar o embasamento teórico necessário para a interpretação e análise dos capítulos seqüentes.

O Capítulo III é constituído pela proposta de utilização da metodologia *Six Sigma*.

O Capítulo IV é constituído pela proposta de utilização da modelagem computacional *fuzzy*.

O Capítulo V apresenta o estudo de Caso na área de produção de LCD's em uma fábrica do Pólo Industrial de Manaus.

O Capítulo VI apresenta às conclusões e recomendações a futuros trabalhos.

1.6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para Mattar (2006), a metodologia é a descrição dos métodos ou procedimentos que serão utilizados na pesquisa, contendo situações como o método, o fim, os meios, o objeto e a finalidade da pesquisa. Seguindo este conceito este capítulo apresenta a metodologia utilizada para a investigação do problema da pesquisa, na intenção, de não só evidenciar os passos seguidos para a obtenção dos resultados, mas também fornecer um roteiro para uma posterior replicação da pesquisa. Com este fim, este sub item foi dividido em seções com focos mais específicos, conforme demonstra a Figura 1.1

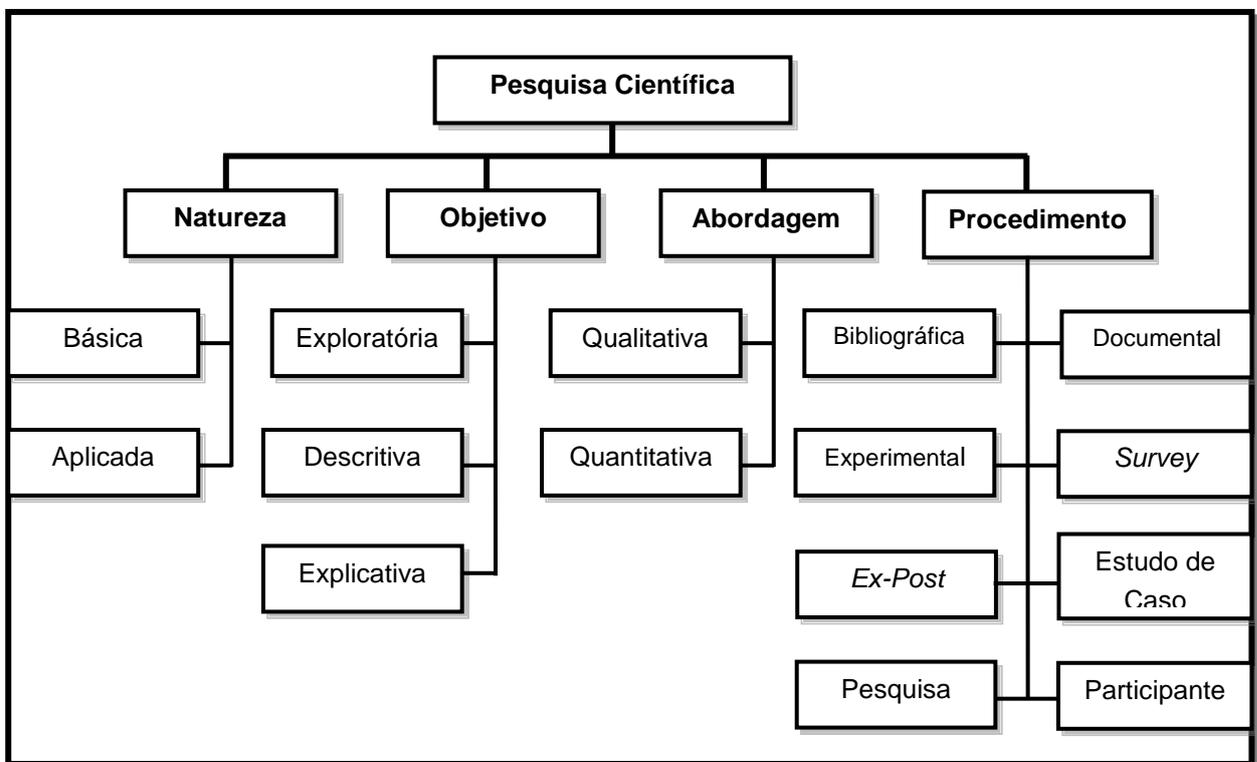


Figura 1.1: Delineamento da Pesquisa

Fonte: Selltiz (1987); Triviños (1987); Richardson (1999); Roesch (1999); Minayo (2003); Vergara (2005); Yin (2005); Marconi; Lakatos (2007); Gil (2008).

1.6.1 Quanto à natureza da pesquisa

Quanto à natureza a pesquisa é do tipo, aplicada. Pois a empresa motivada em solucionar problemas reais de produtividade na linha de montagem de LCD's, aplicou métodos e técnicas da produção enxuta e desenvolveu um modelo em lógica *fuzzy* para direcionamento na tomada de decisão.

Segundo Laville e Dionne (1999), na pesquisa aplicada o pesquisador é levado a uma intervenção na vida real, objetivando compreender as interações das diversas variáveis do objeto de estudo.

1.6.2 Quanto ao objetivo

Quanto aos objetivos a pesquisa foi de caráter exploratório e descritivo.

É exploratória, pois o que se pretende com este trabalho é conhecer mais sobre aplicação da lógica *fuzzy* e *six sigma* através de bibliografias e descrição, pois se baseia em um estudo de caso.

Segundo Vergara (2000), a Pesquisa Exploratória é realizada em área na qual há pouco conhecimento acumulado e sistematizado. Constitui-se ao processo de levantamento bibliográfico (livros, sites, revistas, monografias e teses de mestrados), a fim de verificar se a quantidade das fontes coletadas corresponde à qualidade suficiente para a realização do estudo.

Por ser um estudo de caso, é uma pesquisa descritiva, pelo fato do pesquisador investigar as ações e atitudes do objeto em análise, ou seja, observando, registrando, analisando e correlacionando os fatos sem procurar modificar-los.

A Pesquisa Descritiva para Vergara (2000) expõe características de determinada população ou de determinado fenômeno, constitui-se de observações, análises, classificação e interpretação dos fatos coletados, mas sem interferência do pesquisador. Segundo Cervo (2002, p.67), *“os estudos descritivos, assim como os exploratórios favorecem, na pesquisa mais ampla e completa, as tarefas da formulação clara do problema e da hipótese como a tentativa de solução”*.

1.6.3 Quanto à abordagem

A pesquisa foi qualiquantitativa. Qualitativa, pois se destina aos estudos das técnicas de aplicação da metodologia *six sigma* em uma empresa do pólo industrial de Manaus. Segundo Chizzotti (2001), fundamenta-se em dados reunidos nas interações interpessoais, na co-participação das situações dos informantes, analisadas a partir da significação que estes dão aos seus atos. O pesquisador participa, compreende e interpreta. Quantitativa, pois destina-se a obtenção e análise de dados do objeto de estudo. Para Vergara (2000) a pesquisa quantitativa é a que emprega dados estatísticos como centro de análise de um problema.

Segundo outra autora, Minayo (1994), não há nenhuma relevância em utilizar em uma única técnica os dois tipos de abordagens, justificando para este fato a seguinte explicação do conjunto de dados quantitativos e qualitativos, porém não se opõem. Ao contrário, se completam, pois a realidade abrangida por eles interagem dinamicamente, excluindo qualquer dicotomia.

A escolha por uma combinação de métodos quantitativos e qualitativos numa mesma investigação ocorre quando se pretende amenizar possíveis deficiências ou desvios no uso de um dos métodos isoladamente e ainda se quer garantir maior confiança e credibilidade na interpretação e validação dos resultados encontrados (CRESWELL, 2007). Segundo Bryman (1992), outra vantagem da combinação entre métodos quantitativos e qualitativos é a possibilidade da variação dos instrumentos de coleta e acesso a diferentes níveis da realidade.

1.6.4 Quanto aos procedimentos

A pesquisa foi de caráter bibliográfico, documental e estudo de caso.

Conforme Vergara (2000), a pesquisa bibliográfica é feita com base em material publicado e que estão acessíveis ao público geral. A pesquisa documental se reporta aos documentos que não passaram pelo processo de editoração, ou seja, realizada em documentos conservados no interior de órgãos públicos e privados de qualquer natureza: registros, regulamentos, circulares, ofícios, fotografias, memorandos e balancetes.

A escolha pela estratégia de estudo de caso é indicada quando se pretende lançar um olhar minucioso sobre um ambiente, um sujeito ou uma ação específica, de maneira a permitir uma compreensão mais detalhada do fenômeno estudado (GIL, 2008; GODOY, 2005; TRIVIÑOS, 1987). Para Yin (2005) o estudo de caso é uma investigação empírica que investiga um fenômeno contemporâneo dentro do seu contexto da vida real, utilizando múltiplas fontes de evidências, podendo beneficiar-se de estudos prévios para direcionar a coleta e a análise de dados.

A vantagem da utilização do estudo de caso é a possibilidade do pesquisador aprofundar-se em seus estudos, pois os recursos estão concentrados no caso apontado, sem estar submetido às restrições ligadas a comparações do caso com outros casos (LAVILLE; DIONNE, 1999).

Lakatos (2001) nos mostra que pesquisa de campo é aquela utilizada com o objetivo de recolher informações ou conhecimentos acerca de um problema para o qual se busca uma resposta, ou ainda descobrir novos fenômenos ou relações entre eles. Esta não deve ser confundida como uma simples coleta de dados, é algo mais que isto, pois exige contar com controles adequados e com objetivos pré-estabelecidos.

1.6.5 Universo e amostra

Segundo Vergara (2000), o universo e amostra trata de definir toda a população e a população amostral, ou seja, um conjunto de elementos (empresas, produtos, pessoas) que possuem as características que serão os objetos de estudo. Conforme Mattar (2006), a idéia básica de amostragem estava em que a coleta de dados, fosse alguns elementos da população e sua análise, que poderá proporcionar relevantes informações de toda a população.

De acordo com Andrade (2001) é praticamente impossível estudar uma população inteira, ou todo o universo dos elementos, escolhe-se determinada quantidade dos elementos de uma classe para o objetivo de estudo. Os sujeitos de uma pesquisa, ou seja, os elementos que serão investigados.

A população pesquisada foi uma linha de produção de 32" de LCD que possuía o objetivo de fabricar 255 aparelhos/dia e apenas conseguia produzir 230 aparelhos por dia. Pelo fato deste estudo ter sido realizado em uma única empresa e em um

processo específico, os resultados da pesquisa não devem ser generalizados para todo universo organizacional.

Diz Parra Filho (1998, p.198) *“que a escolha dos critérios para definir uma amostra vai depender de determinadas características dessa população, principalmente no que diz respeito ao seu tamanho e a sua forma de organização”*.

1.6.6 Instrumento e coleta de dados

Segundo Yin (2005), pode se obter dados para um estudo de caso através de seis fontes: (1) arquivos; (2) documentos; (3) entrevistas; (4) observação direta; (5) observação participativa e (6) artefato físico. As várias fontes se completam e um bom estudo de caso deve apresentar o máximo de fonte possível.

Para Richardson (1999), o método quantitativo, como o próprio nome indica, caracteriza-se pelo emprego da quantificação tanto nas modalidades de coleta das informações, quanto no tratamento delas por meio de técnicas estatísticas, desde as mais simples como: percentual, média, desvio-padrão, às mais complexas como coeficiente de correlação, análise de regressão e etc.

Para a pesquisa quantitativa a coleta de dados foi feita por meio do acompanhamento da produtividade mensal do objeto de estudo, no qual é obtida pela quantidade de horas aplicadas por quantidade de horas necessárias.

1.6.7 Análise dos Resultados

Os resultados da pesquisa quantitativa foram apresentados através da utilização de métodos estatísticos. Na pesquisa qualitativa o resultado foi apresentado a partir da análise do método dedutivo e indutivo, fazendo inter-relação entre os aspectos convergentes e divergentes dos resultados da pesquisa. Segundo Chizzotti (2001), o objetivo da análise dos resultados é compreender criticamente o sentido das comunicações, seu conteúdo manifesto ou latente, as significações explícitas ou ocultas.

CAPÍTULO II – REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO

A primeira forma de produção organizada foram os artesãos, visto que estabeleciam prazos de entrega, conseqüentemente estabelecendo prioridades, atendiam especificações preestabelecidas e fixavam preços para suas encomendas. Com o grande número de encomendas, começaram a contratar ajudantes. A produção artesanal começou a entrar em decadência com o advento da Revolução Industrial. Com as descobertas da máquina de fiar em 1764 por James Hargreaves, o tear hidráulico em 1769, por Richard Arkright, a máquina a vapor em 1777 por James Watt, o tear mecânico em 1795, por Cartwright e descaroçador de algodão em 1793 por Whitney, tem início o processo de substituição da força humana pela força da máquina. Os artesãos, que até então trabalhavam em suas próprias oficinas, começaram a ser agrupados nas primeiras fábricas. (CHANTAL BEAUCHAMP, 1998).

Moreira (2002), fala que a Revolução Industrial dos séculos XVIII e XIX transformou a face do mundo. A Revolução marca o início da produção industrial moderna, a utilização intensiva de máquinas, o surgimento de fábricas, os movimentos de trabalhadores contra as condições desumanas de trabalho, as transformações urbanas e rurais, enfim, o começo de uma nova etapa na civilização, rumo a tão conhecida globalização. A Inglaterra, berço principal dessa Revolução, transformou-se na grande potência econômica do século XIX. Já estava claro que o poderio econômico, e mesmo político, ligava-se à capacidade de produção de produtos manufaturados, trocados por alimentos, minerais e matérias-primas, em geral em condições extremamente vantajosas.

Grande parte dessa revolução rumo a modernização está intimamente ligada às atividades de produção, onde aumentar a produtividade e melhorar a qualidade dos produtos são os objetivos básicos da administração da produção.

Para Meredith e Shafer (2002, p.18) *“as organizações existem para criar valor, e o setor de produção existe para criar valor”*. Ou seja, a administração da produção

se preocupa em transformar insumos em produtos úteis, acrescentando valor a uma determinada entidade.

2.2. SISTEMAS PRODUTIVOS

Ballou (2001) conceitua a administração da produção como parte da administração que comanda o processo de manufatura ou de prestação de serviços pela utilização dos sistemas de produção, na busca constante de elevar a produtividade e a efetividade.

Os sistemas produtivos correspondem a um conjunto de atividades e operações inter-relacionadas envolvidas na produção de bens ou serviços.

Meredith e Shafer (2002) destacam que um sistema de produção é definido em termos de ambiente, insumos, sistemas de transformação, produtos e mecanismo utilizado para monitorar e controlar. No ambiente estão toda e qualquer situação que poderá afetar o sistema, vale ressaltar que está fora do controle daqueles que tomam decisões no sistema. Os insumos são os recursos a serem transformados diretamente em produtos, como as matérias-primas, e mais os recursos que movem o sistema, como a mão-de-obra, o capital, as máquinas e equipamentos, as instalações, o conhecimento técnico dos processos, etc.

O processo de transformação é à parte do sistema que acrescenta valor ao produto, muda o formato das matérias-primas ou muda a composição e a forma dos recursos. Em serviços, não há propriamente transformações: o serviço é criado. Em serviços, diferentemente da manufatura, a tecnologia é mais baseada em conhecimento (*know-how*) do que em equipamentos.

Sistema de controle é a designação genérica que se dá ao conjunto de atividades que visa assegurar que programações sejam cumpridas, que padrões sejam obedecidos, que os recursos estejam sendo usados de forma eficaz e que a qualidade desejada seja obtida. O sistema de produção não funciona sozinho, ele sofre influência dos ambientes interno e externo (MOREIRA, 2002).

2.3. CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO

Tubino (2007, p. 27) afirma que *“a classificação dos sistemas produtivos tem por finalidade facilitar o entendimento das características inerentes a cada sistema de produção e sua relação com a complexidade das atividades de planejamento e controle”*. Existem várias formas de classificar os sistemas de produção, serão apresentadas a seguir três dessas formas mais conhecidas:

2.3.1 Por grau de padronização dos produtos

Segundo essa forma a padronização dos produtos pode ser por sistemas que produzem produtos padronizados e sistemas que produzem sob medida.

Para Plossl (1993) o sistema de produção contínuo apresenta seqüência linear de fluxo e trabalha com produtos padronizados, ou seja, pouca variedade e grande volume.

Tubino (2007) diz ainda que os produtos padronizados são bens ou serviços que apresentam um alto grau de uniformidade, são produzidos em grande escala e os clientes esperam encontrá-los a sua disposição no mercado.

Esse tipo de sistema pode ser organizado de forma a padronizar com mais facilidade os recursos produtivos (máquina, pessoas e materiais), além de padronizar a forma de trabalho e controle. De certa forma, esse sistema gera uma redução dos custos.

Os produtos sob medida são bens ou serviços desenvolvidos para atender uma demanda específica, estes possuem dificuldades em padronizar métodos de trabalho e os recursos produtivos geram produtos mais caros do que os padronizados devido ser um sistema que atende as necessidades específicas do cliente.

2.3.2 Por tipo de operação

Esse sistema abrange dois grupos: processos contínuos e processos discretos, os processos discretos podem se subdividir em processos repetitivos em massa, processos em lotes e processos por projeto.

Segundo Moreira (2002), a produção em massa é onde as linhas de montagem produzem em alta escala produtos com grau de diferenciação relativamente pequeno. A produção em lote é onde a fabricação de um determinado produto substituirá o outro, de maneira que o primeiro só voltará a ser fabricado depois de algum tempo. A produção por projeto ou encomenda é aquele que o cliente apresenta as especificações do produto no qual deve ser seguido no momento da montagem do mesmo.

Os processos contínuos apresentam uma seqüência linear para se fazer o produto ou serviço; os produtos e processos são interdependentes e fluem de um posto de trabalho a outro numa seqüência prevista. As diversas etapas do processamento devem ser balanceadas para que as mais lentas não retardem a velocidade do processo, ou seja, existe uma alta uniformidade na produção e não há flexibilidade no sistema favorecendo com isso a automação.

Os processos discretos, repetitivos em massa são empregados na produção em alta escala de produtos altamente padronizados fazendo com que haja pouca alteração em curto prazo no projeto e possibilitando a montagem de uma estrutura produtiva especializada e inflexível. Os processos repetitivos em lotes ou produção intermitente caracterizam-se pela produção de bens e serviços padronizados em lotes, esse tipo de processo emprega equipamentos pouco especializados, mão de obra polivalente, sistema relativamente flexível visando satisfazer os pedidos dos clientes e as variações de demanda. Já os processos por projeto têm como característica o atendimento de uma necessidade específica do cliente, toda a produção de bens ou serviço é baseada na estrutura do projeto do cliente, esse sistema é altamente flexível (TUBINO, 2007).

2.3.3 Pela natureza dos produtos

Segundo Tubino (2007, p.29) *“os sistemas de produção podem estar voltados para a geração de bens ou de serviços”*. Quando o produto fabricado é algo tangível, o sistema de produção é uma manufatura de bens. Quando o produto gerado é intangível, o sistema de produção é um prestador de serviços. Tanto a manufatura de bens, quanto à prestação de serviços estão voltadas a agregar algum valor para os clientes, ou seja, a transformar insumos em produtos ou serviços úteis. Ambas devem projetar seus produtos, prever sua demanda, balancear seu sistema

produtivo, treinar as pessoas, vender seus produtos, alocar seus recursos e planejar e controlar suas operações.

A diferença básica reside no fato de a manufatura de bens ser orientada para o produto, enquanto a prestação de serviços é orientada para a ação.

2.4. LEAN MANUFACTURING

Ferro (2002) afirma que a sociedade vive em um momento de competitividade causada pela eficácia das operações empresariais, e uma das mais fortes ferramentas da indústria é o *Lean Manufacturing*.

O interesse pelo *Lean Manufacturing* permaneceu limitado por parte das empresas ocidentais até que a diferença de desempenho da Toyota e outras fabricantes de automóveis foi destacada por Womack, Roos e Jones (1992) em seu livro "*The machine that changed the world*" traduzido para português com o título "A máquina que mudou o mundo", escrito em 1990.

As técnicas do *Lean Manufacturing*, adotadas pelas organizações atuais surgiram no Japão no final da década de 1940, resultantes da escassez de recursos e da forte competição no mercado automobilístico japonês daquela época.

Segundo Liker (2005), a empresa japonesa Toyota surpreendeu o mundo com uma qualidade dos produtos e uma eficiência no sistema de manufatura superior na década de 1980 em relação os concorrentes. As empresas japonesas causaram um choque no mundo devido ao desempenho junto aos clientes relativos à qualidade, a durabilidade, confiabilidade e preço de seus produtos.

2.4.1 Principais conceitos da Produção Enxuta

O sistema de produção enxuta concentra-se na eliminação de desperdícios, definindo como tudo aquilo que não agrega valor ao ciclo produtivo de um determinado produto ou serviço.

É um sistema de produção onde o valor é especificado e obtido através do alinhamento de atividades geradoras de valor. É uma forma de fazer mais com menos recursos, procurando fornecer aos clientes exatamente o que eles necessitam (WOMACK e JONES, 2003).

Segundo Hines e Taylor (2000), os princípios da produção enxuta possuem cinco características básicas:

a) **Especificar atividades que agregam valor:** atividades que na visão do cliente agregam valor ao produto ou serviço, e que realmente ele ficaria feliz em pagar.

Para Bauch (2004) o primeiro passo do pensamento enxuto deve ser um estudo com os consumidores específicos com o objetivo de entender suas necessidades particulares em determinado momento e quanto eles estão dispostos a pagar por esta. Pois uma vez identificado essas necessidades torna-se mais fácil definir o valor em termos de propriedade física e preços específicos.

De acordo com Ferreira (2003), o termo valor tem dentre várias, as seguintes definições:

- ✓ Qualidade pela qual determinada pessoa ou coisa é estimável em maior ou menor grau; mérito ou merecimento intrínseco. Ou seja, o valor representa o quanto o serviço ou o produto a ser produzido será estimado pelo consumidor. Isto só será alcançado pela correta tradução de sua expectativa no processo de desenvolvimento do produto/serviço.
- ✓ Importância de determinada coisa, estabelecida ou arbitrada de antemão. Isto pode ser obtido com o uso de ferramentas específicas para determinação da importância relativa das necessidades dos consumidores no desenvolvimento do produto.
- ✓ Maior ou menor apreço que um indivíduo tem a um determinado bem ou serviço e que pode ser de uso ou de troca. Representa a visão que se deve ter da real utilidade do produto para um determinado propósito.

b) **Identificar a cadeia de valor para cada produto:** são todos os passos necessários para produção de um produto através do fluxo total de valores para destacar as perdas sem adição de valor.

Para Womack e Jones (2003), este tipo de abordagem aplica-se aos três maiores campos de atividades de negócios;

- ✓ Solução de Problemas: que vai da concepção ao lançamento do produto no mercado;

- ✓ Gerenciamento da Informação: desde o recebimento do pedido, detalhamento da programação e entrega do pedido; e
- ✓ Transformação Física: da matéria-prima ao produto acabado.

Bauch (2004) afirma que o ponto chave da análise do fluxo de valor é observar o fluxo de valor por completo, começando com o primeiro fornecedor da cadeia até o cliente final.

c) **Fluxo de valor**: significa fazer fluir as atividades que criam valor, sem interrupção, desvios, contra fluxos, esperas ou refugo.

O objetivo do fluxo de valor consiste em redefinir as atividades de forma que elas possam contribuir de forma positiva para criação do valor e alcançar as reais necessidades do processo em todos os pontos do fluxo de valor, tornando assim de interesse de todos (WOMACK E JONE, 2003).

d) **Produção Puxada**: fazer o que os clientes (internos e externos) precisam no tempo certo, ou seja, só fazer o que for solicitado pelo cliente.

Para Rother e Shook (2003) o objetivo de colocar um sistema puxado é ter uma maneira de dar a ordem exata da produção ao processo anterior, sem tentar prever a demanda do processo posterior. Puxar é um método para controlar a produção entre dois processos.

Conforme Hines e Taylor (2000) o pensamento enxuto, não se preocupa somente como prover os bens e serviços desejados pelos clientes, ele volta-se a provê-los quando os clientes desejarem. A produção puxada deve ser feita de acordo com o consumo real do cliente, e não de acordo com uma previsão de consumo.

e) **Perfeição**: o último princípio enxuto é alcançar a perfeição, isso significa constantes melhorias de processos e sucessivos aumento de eficiências.

A perfeição é, então, o estado futuro do fluxo de valor. Depois da eliminação de todos os *mudas*, conforme a aplicação dos quatros princípios anteriores. Para Rother e Shook (2003), Muda é qualquer ação que agregue tempo, esforço, custo, mas não agregue valor ao produto final.

2.4.2 Desperdícios

Para uma redução efetiva dos custos de produção, os desperdícios devem ser analisados e ponderados porque estão interligados e facilmente encobertos pela complexidade das organizações (SHINGO, 1996).

Na Toyota, a redução dos desperdícios passa por uma análise detalhada da cadeia produtiva, isto é, a seqüência de processos pelo qual passa a matéria-prima até sua transformação em produto acabado, com o objetivo de identificar as tarefas que não adicionam valor.

Conforme Ohno (1997, p. 25) “a base dos sistema *toyota* de produção é a absoluta eliminação do desperdício”. A Fig. 2.1 nos mostra que os dois pilares de sustentação desse princípio são: *Just-in-time* (JIT) e o *Jidoka* ou automação, ou seja, a automatização com um toque humano.

De acordo com Guinato (2000) este modelo (Figura 2.1) demonstra o objetivo da Toyota que é fornecer produtos ou serviços de alta qualidade, com baixo custo e com o menor *lead time* (tempo de realização de uma atividade). Tudo isso, enquanto assegura um ambiente de trabalho onde a segurança e a moral dos trabalhadores constitua-se em preocupação essencial da gerência.



Figura 2.1: A estrutura do Sistema Toyota de Produção

Fonte: GUINATO P. Produção & Competitividade: Aplicações e Inovações (2000).

Segundo Womack e Jones (2003); Shingo (1996) e Hines e Taylor (2000) os desperdícios vem sendo classificados em sete perdas distintas:

- 1- Perda por Superprodução;
- 2- Perda por transporte;
- 3- Perda pelo processamento em si;
- 4- Perda por movimento;
- 5- Perda por espera;
- 6- Perda por fabricação com defeito, e
- 7- Perda por estoque.

2.4.2.1 Perda por Superprodução

De todas as sete perdas, a perda por superprodução é a mais prejudicial. Pois a mesma tem a propriedade de esconder as outras perdas e é mais difícil de ser eliminada (GUINATO, 2000).

Normalmente esta perda é gerada por restrições no processo produtivo, como por exemplo: elevado tempo de preparação de equipamentos/ máquinas/ ferramentas, falha no controle da programação da produção em termos de quantidade e prazos de entrega, arranjo físico inadequado, etc (CORRÊA; GIANESI, 1996, pág. 68).

Conforme Shingo (1996) a superprodução é dividida em dois tipos:

a) **Superprodução por quantidade:** é a perda por produzir além do volume programado. Esse tipo de perda gera o aumento do *WIP (work in process)*, aumento de movimentação de peças, gera a necessidade de armazenamento, além de em alguns casos, gerar uma expectativa de demanda que poderá não se realizar.

b) **Superprodução por antecipação:** é a perda decorrente de uma produção realizada antes do momento necessário. Esse tipo de perda gera ocupação da mão-de-obra em produtos não necessários no momento, pode gerar falta de matéria-prima em produtos que estão sendo requisitados com urgência, além de elevar os estoques.

Hines e Taylor (2000) afirmam que “a superprodução tende a levar a um *lead time* e estoques elevados”. A Figura 2.2 mostra um acúmulo de *work in process*

devido à superprodução, ou seja, entre cada operador existem produtos em espera o que demonstra uma produção desnecessária.

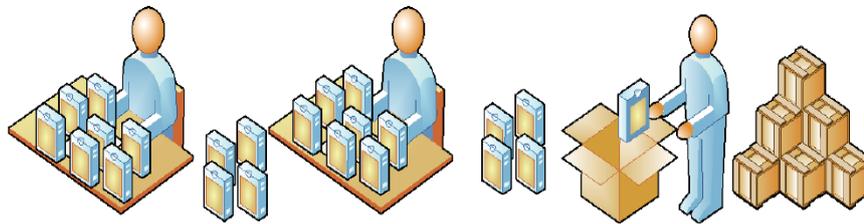


Figura 2.2: Desperdícios por Superprodução
Fonte: Baseado em Hines e Taylor (2000)

2.4.2.2 Perda por Transporte

O transporte representa gastos de tempo e de recursos financeiros, mas não agregam valor ao produto. Considera-se transporte o deslocamento de materiais de fornecedores até a empresa, da empresa até o cliente ou entre os departamentos da empresa.

Conforme Liker (2005), o transporte é uma atividade que não agrega valor, e deve ser vista como uma perda que deve ser minimizada. A eliminação dos transportes tem como objetivo o aumento da eficiência produtiva. E isso só é possível com as melhorias de *layouts* dos processos e seus arranjos físicos, diminuindo as distâncias a serem percorridas por materiais e pessoas (CORRÊA; GIANESI, 1996).

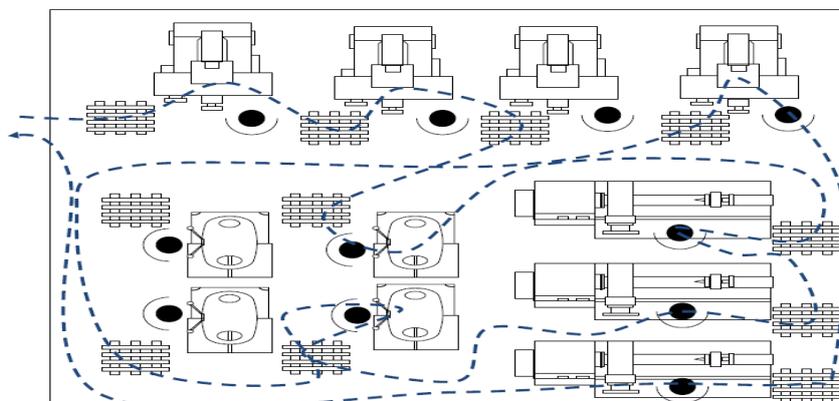


Figura 2.3: Desperdícios por Transporte
Fonte: Baseado em Linker (2005).

A Fig. 2.3 representa um esquema de movimentação de matéria-primas e produtos ao longo de uma fábrica.

2.4.2.3 Perda pelo processamento em si

Para Guinato (2000) são parcelas do processamento que poderiam ser eliminadas sem afetar as características e funções básicas do produto e/ou serviço. Consiste na execução de atividades de processos desnecessárias para que o produto atinja as características desejadas pelo cliente. O processo de fabricação em si pode gerar perdas, como, por exemplo, retrabalhos.

Shingo (1996) afirma que são dois os caminhos para se eliminar a perda por processamento: 1) Melhoria do produto em si, através da engenharia e análise de valor do produto; 2) Melhoria dos métodos de fabricação através da engenharia e/ou tecnologia de fabricação.

2.4.2.4 Perda por movimento

As perdas por movimentação relacionam-se aos movimentos desnecessários realizados pelos operadores na execução de uma operação. Este tipo de perda pode ser eliminado através de melhorias baseadas no estudo de tempos e movimentos. Tipicamente, “a introdução de melhorias como resultado do estudo dos movimentos pode reduzir os tempos de operação em 10 a 20%” (GUINATO, 2000).

Segundo Corrêa; Giansi (1996) a eliminação da perda por movimento reduz os tempos de operação, o uso intensivo do estudo de tempos e métodos contribui para padronização das tarefas, e conseqüentemente, para o aumento da qualidade e produtividade dos produtos fabricados.

2.4.2.5 Perda por espera

As perdas por esperas representam longos períodos de ociosidade das pessoas, máquinas e informações, resultando em fluxo mal definido, bem como *lead time* longo (HINES e TAYLOR, 2000).

Segundo Womack e Jones (2003) há dois tipos de perda por espera: 1) Esperas de Processo – quando o operador apenas serve para vigiar uma máquina automática ou fica esperando o próximo passo no processamento, pela ferramenta, pelo suprimento ou pela peças; 2) Esperas de Lotes – é a perda por espera de materiais em estoques intermediários, aguardando para ser processado ou entregue.

2.4.2.6 Perda por fabricação com defeito

A perda por fabricação de produtos defeituosos é o resultado da geração de produtos que apresentem alguma de suas características de qualidade fora de uma especificação ou padrão estabelecido e que por esta razão não satisfaçam a requisitos de uso.

Conforme Corrêa e Corrêa (2006), produzir produtos com defeitos significa desperdiçar materiais, disponibilidade de equipamentos, disponibilidade de mão-de-obra, movimentação de materiais defeituosos, etc.

2.4.2.7 Perda por estoques

Corrêa e Corrêa (2006) comenta que os estoques, além de ocultarem outros tipos de desperdícios, significam desperdícios de espaço e investimento. A sua redução deve ser feita através da eliminação das causas geradoras da necessidade de se ter estoques.

Para Slack *et al* (2002), os estoques escondem os problemas do sistema de produção, impedindo que os mesmos sejam solucionados. A Figura. 2.4 nos mostra essa idéia onde os muitos problemas da produção são como as pedras no leito de um rio, atrapalhando o fluxo e causando turbulência. A água representa o nível de estoque na produção, e o navio, a gerência. A redução do nível de estoque (água) permite que a gerência (navio) veja os problemas de produção (pedras) e procure reduzi-los.

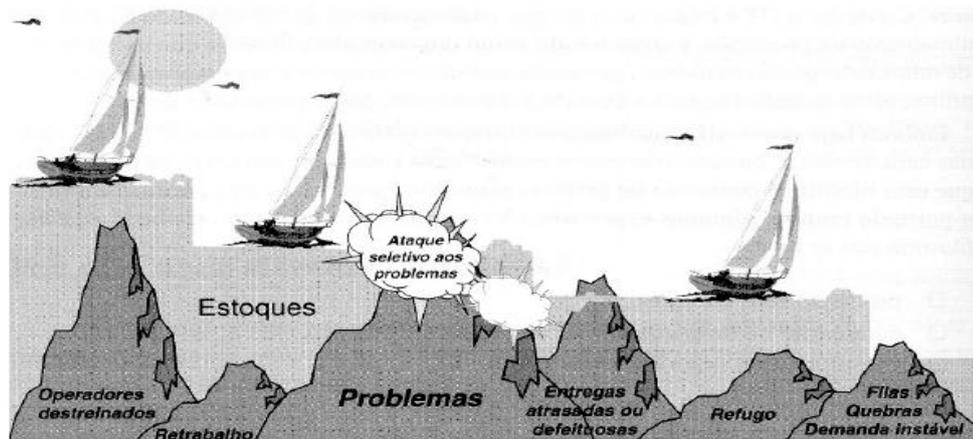


Figura 2.4: Redução dos estoques para expor os problemas do processo.
Fonte: Corrêa; Gianesi; Caon (1996, p. 364)

2.4.3 *Just in time*

O *Just in Time* (JIT) é uma expressão em inglês que foi adotada no ocidente para denominar o sistema utilizado pelas indústrias japonesas, precisamente a *Toyota Motor Company*, o qual buscava o desenvolvimento de um novo sistema de administração que coordenasse a produção com a demanda específica dos diversos modelos e cores de veículos com o mínimo atraso (Corrêa e Gianesi, 1996).

Harrison (2003, p.189) afirma que “O *Just in time* é, na verdade, uma ampla filosofia de gestão que procura eliminar o desperdício e melhorar a qualidade em todos os processos do negócio”.

Para Rocha (1995, p.201) “*Just in time* significa no tempo justo, o abastecimento ou desabastecimento da produção no tempo certo, no lugar certo e exatamente na quantidade certa”. O JIT significa produzir bens e serviços exatamente no momento em que são necessários, não antes para que não se transformem em estoques e não depois para que os clientes não tenham que esperar.

Martins e Laugeni (2005) comentam que *Just in Time* (JIT), é um sistema em que os fornecedores devem mandar os suprimentos à medida que eles vão sendo necessário na produção. O JIT busca a eliminação de tudo o que não agrega valor ao produto ou serviço.

Slack *et al* (2002, p. 358) afirma que “para entender o JIT, deve-se analisá-lo no aspecto de uma filosofia de manufatura e ao mesmo tempo como uma coleção de

técnicas e ferramentas, as quais fornecem condições para suportar esta filosofia”. O JIT é, na verdade, uma ampla filosofia de gestão que procura eliminar o desperdício e melhorar a qualidade em todos os processos da organização.

2.4.4 Kanban

Para Martins e Laugeni (2005, p.308) “o *kanban* é um método de autorização da produção e movimentação no sistema JIT, usado para controlar a ordem dos trabalhos em um processo seqüencial”.

A técnica *Kanban* é dirigida à melhoria dos métodos de produção a partir da utilização de cartões (*kanban*) e visa controlar os movimentos de material ou a operação desse material (produção), controlando o estoque entre as fases do processo (ROCHA, 1995).

Tubino (2007) comenta que o sistema *kanban* foi desenvolvido na década de 60 pelos engenheiros da Toyota, com o objetivo de tornar simples e rápidas as atividades de programação, controle e acompanhamento de sistemas de produção em lotes. Esse sistema foi projetado para ser usado dentro do contexto mais amplo da filosofia *just in time* e busca movimentar e fornecer os itens dentro da produção apenas nas quantidades necessárias e no momento necessário. O objetivo do *kanban* é ter um método que reduz o tempo de espera, diminuindo o estoque, melhorando a produtividade e interligando todas as operações em um fluxo uniforme e ininterrupto. Dentro da programação da produção, o sistema *kanban* caracteriza-se por “puxar” os lotes dentro do processo produtivo, enquanto que os métodos tradicionais de programação da produção utilizam “empurrar” um conjunto de ordens para serem feitas no período. A diferença básica entre os dois sistemas é que, no sistema *kanban* de puxar a produção não se produz nada até que o cliente (interno e externo) de seu processo solicite a produção de determinado item. No sistema convencional de empurrar a produção é baseado em um programa de produção completo, da compra da matéria-prima (MP) à montagem do produto acabado (PA), transmitindo-o aos setores responsáveis ordens de compra (OC), fabricação ou montagem (OF) e ordem de manufatura (OM), conforme figura 2.5

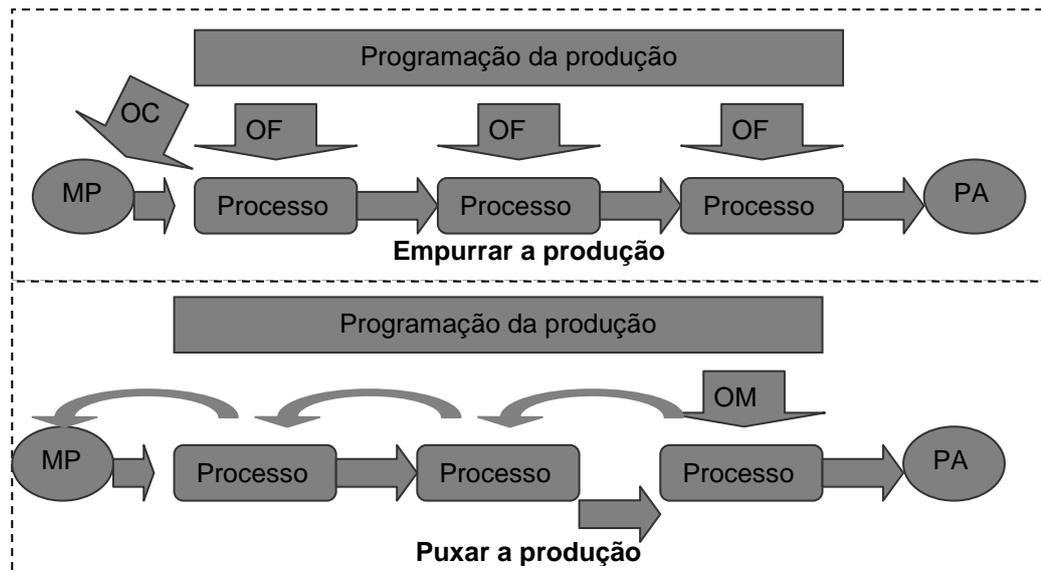


Figura 2.5: Empurrar e puxar a produção.

Fonte: TUBINO, Dalvio Ferrari. Manual de Planejamento e Controle da Produção (2007).

Ohno (1997) comenta que os japoneses introduziram uma idéia simples: a eliminação do desperdício é tudo aquilo que não acrescenta nenhum valor ao produto, tais como:

- Filas de materiais são desperdícios: Ocupam espaço, aumentam o tempo do ciclo de manufatura e as peças podem ser danificadas;

- Fábrica escondida: Uma parte não visível de perdas ocasionadas por desperdícios, partes estas irre recuperáveis dentro do processo de armazenagem ou de manufatura;

- Estocar é desperdício: Requer registros e movimentações de materiais extras. “Amarra” o capital e alguns materiais tendem a ser obsoletos;

- Produzir além do programado é desperdício: Não é necessário e pode usar até o material necessário para outros produtos do *MIX*, ou seja, produtos diferentes;

- Tempo de espera é desperdício: Qualquer quantidade maior que as necessidades programadas podem ser chamadas de perda, pois somente agrega custo ao produto sem alterar o valor do mesmo.

Corrêa e Giancesi (1996, p. 91) afirmam que “o *kanban* age como *disparador da produção de centros produtivos em estágios anteriores do processo produtivo, coordenando a produção de todos os itens de acordo com a demanda de produtos finais*”. Como forma de entender melhor o funcionamento do sistema *kanban*, os

cartões *kanban* se dividem em dois grupos: os de produção e o de requisição ou transporte.

O cartão *kanban* de produção é empregado para disparar a produção de um pequeno lote de peças de determinado tipo, em um determinado centro de produção da fábrica (CORRÊA E GIANESI, 1996).

2.4.5 *Jidoka* (Autonomação)

A palavra *Jidoka* significa autonomação, ou seja, a máquina é dotada de inteligência e toque humano. A autonomação é uma das bases do Sistema Toyota de Produção. Segundo Ohno foi uma das primeiras técnicas a ser usada pela Toyota.

Quando Ohno iniciou suas experiências com o *jidoka*, as linhas de produção paravam a todo o momento, mas à medida que os problemas iam sendo identificados o número de erros começou a diminuir. Hoje, nas fábricas da Toyota o rendimento das linhas se aproxima a 100%, ou seja, as linhas praticamente não param (GUINATO, 2000)

Para Shingo (1996) a autonomação é um dos muitos meios disponíveis para redução dos custos de mão-de-obra. A autonomação, além de automatizar a força de trabalho da mão humana, automatiza a ação de observação dos operadores, no tocante a alguma anomalia no processo. Quando acontece algum defeito no produto, a máquina para automaticamente de produzir. É apenas nesse momento que a máquina recebe atenção do operador, com isso, os operadores passam a operar várias máquinas ao mesmo tempo.

2.4.5 *Poka-yoke*

Guinato (2000) afirma que *Poka-yoke* é o segundo componente do pilar *Jidoka*. É um mecanismo de detecção de anormalidade que impedem a execução irregular de uma atividade.

Para Feld (2000), *poka-yokes* são mecanismo ou métodos que ajudam os operadores a evitar erros no seu trabalho, tais com a escolha de uma peça errada, esquecimento de um componente na montagem, montagem errada, etc. São exemplos de *poka-yoke*: projeto de componentes ou parte do produto que impossibilitam sua montagem de forma errada, projeto de montagem automática, métodos que verifiquem a operação executada (inspeção).

Segundo Corrêa e Corrêa (2006), esse tipo de sistema impede que o erro se transforme numa peça defeituosa. Se o erro ocorreu, a máquina detecta através do dispositivo e o sistema bloqueia a continuação da operação

2.4.6 Kaizen

Para Conner (2001) *kaizen* é uma palavra japonesa que significa melhoria contínua, focada em fazer pessoas trabalharem da melhor forma possível.

Suzaki (1996) diz que o conceito desta ferramenta está centrado na melhoria das atividades de processo, como o próprio nome sugere: KAI (mudança) e ZEN (melhor), ou seja, mudar para melhor.

De acordo com Berger (1997) e Wittenberg (1994) o *kaizen* surgiu derivado da evolução dos conceitos de qualidade japoneses. Nesses termos de gestão da qualidade total o *kaizen* se modelou como um guarda-chuva sob o qual se colocaram todas as abordagens pela busca pela excelência e melhoria contínua.

A melhoria contínua traz consigo característica de promover melhorias com baixo custo, e em muitas vezes, sem investimento financeiro. A prática do kaizen depende do contínuo monitoramento dos processos, através da utilização do ciclo de PDCA: planejar, fazer, checar e agir (SLACK *et al*,2002).

Conforme Sharma e Moody (2003) um evento *kaizen* tem como característica, o foco no trabalho em equipe, a solução de problemas específicos e objetivos pré-estabelecidos.

2.4.7 Lay-out (Melhoria no arranjo físico)

Para Slack *et al* (2002, p.200) “o arranjo físico de uma operação produtiva preocupa-se com o posicionamento físico dos recursos de transformação”. O arranjo físico é uma das características mais evidente de um processo, pois determina sua forma e aparência.

O estudo do *lay-out* busca encontrar a melhor maneira de dispor fisicamente todos os meios de produção, otimizando a funcionalidade do sistema. O objetivo do arranjo físico é obter operações econômicas, afim de: utilizar racionalmente o espaço físico disponível, reduzir movimentações entre os processos (materiais/pessoas/produtos), obter fluxo coerente de fabricação, oferecer melhores condições de trabalho, evitar investimento desnecessário, permitir manutenção, obter qualidade de fabricação e obter soluções flexíveis devido demanda de mercado. (ROCHA, 1995).

2.4.8 Células de Manufatura

Historicamente, os sistemas de manufatura passaram por fortes transformações no que diz respeito à organização da produção, aos avanços tecnológicos e à demanda por bens e serviços (MONDEN, 1984).

Conforme Seixas (2004), essas transformações vem ocorrendo de maneira muito rápida na atualidade, porém, no chão de fábrica não acontecem nessa mesma intensidade e velocidade. Portanto, a necessidade de métodos e técnicas que permitam a indústria manufatureira acompanhar toda essa tendência é um fato indiscutível.

Para Severiano Filho (1998, p.45) “a manufatura celular corresponde a um novo paradigma de organização industrial, resultante da tentativa de linearizar o fluxo de materiais [...] sem sacrificar a flexibilidade funcional do processo”.

O objetivo da manufatura celular é alcançar maior eficácia na produção a partir da exploração das similaridades das peças, partes ou grupo de máquinas, buscando a minimização da interação com outras células de trabalho. Para os autores Gindy;

Ratchevy; Case (1996), os requisitos para alcançar uma situação ótima podem ser resumidos em: 1) Minimização da capacidade das células, ou seja, divisão dos componentes em grupos onde as capacidades de processamento dentro da célula sejam otimizadas; 2) Maximização do número de componentes na família de peças que requer um conjunto completo de recursos alocados para a célula, ou seja, compactação máxima para o grupo.

Para Lécico Lean (2003), é usual dispor os recursos dentro da célula em forma de “U”, pois assim se evita que os operadores percorram distâncias muito longas e possibilita combinações de diferentes atividades para os operadores, além de possibilitar a realização da primeira e da última operação do processo pelo mesmo operador. Útil para manutenção do ritmo de trabalho e seqüência do fluxo de montagem.

2.4.9 Produtividade

Para Ferreira (2003, p. 60):

“a produtividade é a expressão mais simples dos resultados operacionais da gerência de operações, é uma relação entre a capacidade de produção e a forma como os demais elementos podem ser gerenciados para expandir a produtividade e, em decorrência, elevar o número de capacidades produzidas”.

Segundo Severiano Filho (1998), o conceito de produtividade, mesmo sendo analisado sobre várias perspectivas, parece convergir para a mesma idéia associada à eficiência. O conceito tecnológico de produtividade define a relação entre o resultado (*output*) e os recursos gastos na produção (*input*). A teoria econômica sugere que a produtividade deve ser definida como a eficiência da alocação de recursos. Por sua vez, a engenharia, trata a produtividade numa visão de eficiência, definida pela relação entre os resultados atuais e potencial de um processo.

Stevenson (2001), afirma que a produtividade é um índice que mede a relação do *output* gerado (bens e/ou serviços) e os *inputs* realizados (pessoas,

materiais, equipamentos, energia, etc). Essa medida de desempenho é expressa, geralmente, conforme expressão abaixo:

$$\text{Produtividade} = \frac{\text{Output}}{\text{Input}} \quad (2.1)$$

Na tabela 2.1 estão apresentadas algumas medidas de produtividade.

Tabela 2.1 – Medidas de Produtividade

Melhoria da Produção Enxuta	Indicador de Produtividade
Redução da Planta Industrial	Quantidade total de produtos/m ² de planta operacional
	Quantidade total de produto/utilização total de hora-homem
Redução dos estoques	Quantidade total de produto/m ² da planta ocupada com estoque
Redução de refugos, desperdícios e retrabalho	Quantidade total de produto/utilização total de hora-homem
	Quantidade total de produto/utilização total de hora-máquina
Redução do tempo de <i>set-up</i>	Quantidade total de produto/utilização total de hora-homem
	Quantidade total de produto/utilização total de hora-máquina

Fonte: Severiano Filho (1998)

2.4.10 OPT (*Optimized Production Technology*)

OPT que significa "*Optimized Production Technology*" é um método de gestão da produção que foi desenvolvido por um grupo de pesquisadores israelenses em 1978, do qual fazia parte o físico Eliyahu Goldratt, que acabou por ser o principal divulgador dos seus princípios.

Para Corrêa e Gianesi (1996), OPT é uma técnica computadorizada que auxilia a programação e sistemas produtivos, ao ritmo ditado pelos recursos mais fortemente carregados, ou seja, o OPT é um método de Planejamento e Controle da Produção – PCP – que tenta otimizar a programação pela maximização da utilização dos gargalos do processo.

Slack *et al* (2002) comenta que o OPT utiliza a terminologia do “tambor, pulmão, corda” para explicar sua abordagem de controle. Utilizando o OPT, o centro de trabalho gargalo transforma-se num tambor, batendo o ritmo para o restante da fábrica. Esse ritmo determina a programação de setores não gargalo, puxando o trabalho de linha (a corda) de acordo com a capacidade do gargalo e não a capacidade do centro de trabalho. Nunca deveria ser permitido trabalhar um gargalo a menos do que a capacidade máxima, conseqüentemente pulmões de estoque deveriam ser colocados antes do gargalo, de modo a garantir que ele nunca pare por falta de trabalho.

2.5 ESTUDO DE TEMPOS E MOVIMENTOS

Para Barnes (1999), o estudo de tempos e movimentos é um estudo sistemático dos sistemas de trabalho, seguindo as seguinte etapas: (1) desenvolver o sistema e o método preferido, normalmente aquele de menor custo; (2) padronizar esse sistema e método; (3) determinar o tempo gasto com uma pessoa qualificada e devidamente capacitada, trabalhando num ritmo normal, para executar uma operação específica e (4) orientar o treinamento das pessoas no método preferido.

Segundo Lécio Lean (2003), é uma ferramenta que ajuda no desenvolvimento do fluxo contínuo em um processo com múltiplos operadores e múltiplas etapas, com isso, tem-se por objetivo a sincronização dos tempos de operações, nivelando-se as cargas de trabalho, bem como a redução dos tempos que não agregam valor para o processo. A figura 2.6 nos ilustra um gráfico desse tipo.

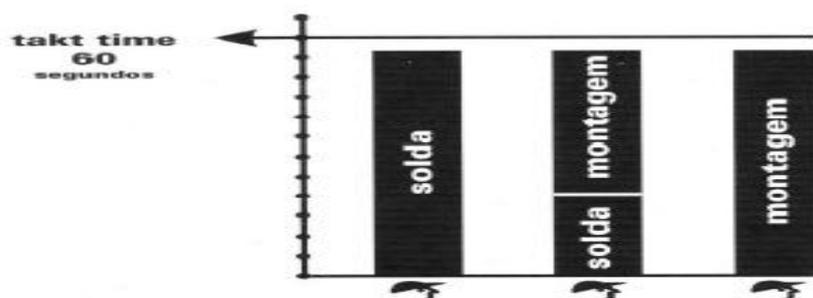


Figura 2.6: Ilustração de um gráfico de balanceamento.

Fonte: ROTHER; SHOOK. Aprendendo a enxergar: mapeando o fluxo de valor, para agregar valor e eliminar desperdícios (2003).

Para Slack *et al* (2002), o estudo do método significa seguir os seguintes passos:

- ✓ Selecionar o trabalho a ser estudado;
- ✓ Registrar todos os passos relevantes do método presente;
- ✓ Examinar esses fatos criticamente e na seqüência observada;
- ✓ Desenvolver o método mais prático, econômico e efetivo;
- ✓ Implantar o novo método;
- ✓ Manter este novo método e fazer checagem periódicas dele em uso.

2.5.1 Cronometragem

A Cronometragem envolve a identificação e a medição dos elementos de movimento que constituem uma tarefa altamente repetitiva. As medições são feitas com um cronômetro e os tempos de duração dos ciclos de movimentos elementares são registrados em uma folha de observações (FITZSIMMONS; FITZSIMMONS, 2000).

Para Martins e Laugeni (2005, p. 84) “a cronometragem é um dos métodos mais empregados na indústria para medir o trabalho”.

A finalidade da cronometragem é estabelecer padrões para o planejamento de produção, fornecer dados para determinar os custos industriais, estimar o custo de um novo produto, fornecer dados para o estudo de balanceamento de estruturas de produção e a medição do esforço físico despendido através do qual se compara as performances de economia de movimentos introduzidos em um posto de trabalho.

Conforme Barnes (1999) existe três as regras básicas na cronometragem:

- ✓ Para se obter leitura exata do cronômetro deve haver uma separação clara entre os elementos;
- ✓ Os tempos de máquina devem ser separados sempre dos tempos de todos os demais elementos;

- ✓ Os elementos com frequência constante devem ser separados dos elementos esporádicos.

2.6 LOGÍSTICA

Para Slack (2002, p. 316) *“a logística originou-se durante a Segunda Guerra Mundial, quando estava relacionada à movimentação e coordenação de tropas, armamento e munições para os locais necessários”*.

Quando adotada como um conceito pelo mundo empresarial, ela referiu-se à movimentação e coordenação de toda movimentação de materiais dentro do ambiente interno e externo da empresa, ou seja, desde a chegada da matéria-prima até a entrega do produto final ao cliente. Portanto, podemos denominar a logística como a atividade mais ampla possível de uma empresa dentro de seu mercado de atuação.

Na opinião de Ballou (2001), a logística trata de todas as atividades de movimentação e armazenagem que contribuem para facilitação do fluxo de produtos, iniciando na aquisição de insumos a consumo final, assim como, dos fluxos de informações que colocam produtos em movimentação. Sendo assim, a logística pode ser considerada como centro nervoso da empresa, pois se ela não for precisa a empresa não terá condições de ofertar produtos com preços adequados aos clientes e na hora oportuna.

Para Novaes (2004), a moderna logística procura incorporar: prazos previamente acertados e cumpridos integralmente ao longo de toda cadeia de suprimentos, integração efetiva e sistêmica entre todos os setores da empresa, busca a racionalização dos processos e a redução de custos em toda cadeia de suprimentos e a satisfação plena do cliente.

CAPÍTULO III

3.1 SIX SIGMA

Segundo Bisgaard e Freiesleben (2004) o *six sigma* é considerado como o progresso do gerenciamento da qualidade, é altamente poderoso e bem sucedido. O *six sigma* vem se sobressaindo com uma das práticas atuais de sucesso na área de melhoria da qualidade, pois tem como objetivo reduzir drasticamente a variabilidade dos processos críticos e aumentar a lucratividade das empresas, por meio de otimização de produtos e processos, buscando satisfação de clientes e consumidores. É portanto, uma metodologia estruturada que desenvolve a qualidade por meio da melhoria continua dos processos envolvidos na produção de um bem ou serviço, levando em consideração todos os aspectos importantes de um negócio.

Conforme Marshall Júnior (2008, p.125) o *six sigma* “traduz os esforços de melhoria das organizações na meta específica de reduzir defeitos para próximo de zero. Objetiva atingir em determinados processos o máximo de 3,4 defeitos por 1 milhão de oportunidades”. Para Aguiar (2006, p. 203) “o programa *six sigma* promove uma mudança na cultura de uma empresa, pois, após a sua implementação, modifica o posicionamento da empresa em relação aos seus problemas e também a sua forma de identificá-los e tratá-los”. O *six sigma* é uma ferramenta que auxilia a organização a entender e melhorar a competitividade dos seus processos, através do alinhamento com os requisitos do mercado, buscando a rentabilidade, através da redução de atividades que não agregam valor ao processo. Uma organização que utiliza o *six sigma* ganha competitividade ao reduzir suas taxas de defeitos e erros durante o processo de fabricação.

3.1.2 Métrica Six Sigma

A letra minúscula do alfabeto grego sigma (σ) é um símbolo utilizado para representar estatisticamente o desvio padrão de uma população. De acordo com Montgomery (1997) o desvio padrão é uma medida da dispersão de uma população expressa na unidade de origem da variável.

A métrica *six sigma* (6σ) significa que a distância entre o valor médio das saídas do processo e cada um dos limites de especificações é de seis desvios padrões do processo. A ilustração 3.1 demonstra a probabilidade do valor da variável de se apresentar acima do LSE (limite superior de especificação) é de 1 parte por bilhão (1 ppb), ou seja, a cada um bilhão de serviços prestados ou produzidos um estará fora da especificação. Desta mesma forma é a probabilidade da variável de se encontrar abaixo de 1ppb, ou seja, do valor do limite inferior de especificação – LIE.

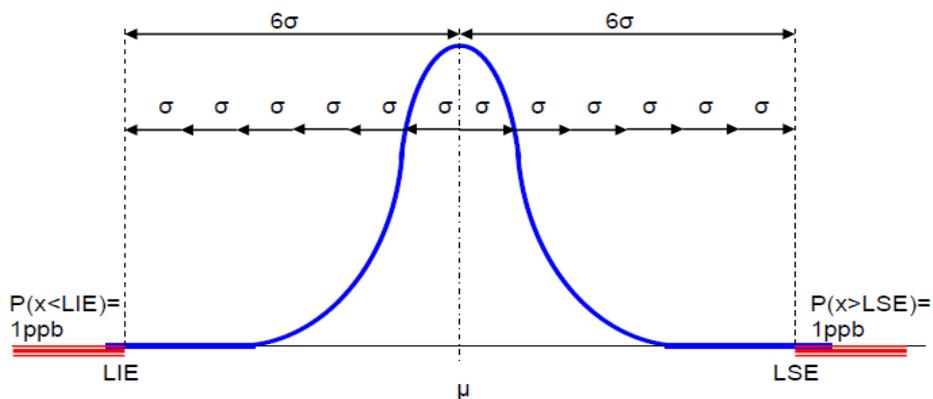


Figura 3.1: Métrica *Six Sigma*
Fonte: Baseado em Montgomery (1997)

Conforme Pande *et al* (2001), o nível de *sigma* aceitável para um dado processo dependerá dos requisitos solicitados pelos clientes, conforme Tabela 3.1 de Defeito por milhão de oportunidades (DPMO).

Tabela 3.1 – Escala *Six Sigma*

Taxa de Acerto	Taxa de Erro	Defeito por milhão de oportunidades (DPMO)	Escala <i>Sigma</i>
30,9%	69,1%	691,462	1,0
69,1%	30,9%	308,538	2,0
93,3%	6,7%	66,807	3,0
99,38%	0,62%	6,210	4,0
99,977%	0,023%	2,33	5,0
99,99966%	0,00034%	3,4	6,0

Fonte: baseado em Pande *et al* (2001)

3.1.3 Estrutura do *Six Sigma*

Conforme Harry (1998) as organizações não são apenas construídas das filosofias ou programas, mas sim das pessoas e de seus conhecimentos, portanto, o sucesso do *six sigma* depende das pessoas que para esse objetivo foram capacitadas.

Para uma eficaz implementação da filosofia do *six sigma* é necessário definir uma estrutura mínima para viabilizar e manter viva as práticas dessa filosofia. Para isso existem posições hierárquicas para manter uma estrutura que propicie retorno e manutenção do trabalho. Pyzdek (2003) afirma que as posições existentes em uma estrutura adequada estão definidas abaixo:

- Executivo Líder. É o responsável pela estratégia da organização e visa prover meios pelos quais os objetivos estratégicos possam ser alcançados. Segundo Pande *et al* (2001) estão sob suas responsabilidades: estabelecer a infra-estrutura para iniciativa *six sigma*, selecionar projetos e alocar recursos, rever o progresso dos projetos periodicamente, oferecendo idéias e propondo soluções, patrocinar a execução dos projetos selecionados, ajudar a quantificar os impactos dos projetos no resultado financeiro, identificar pontos fortes e fracos do programa, compartilhar as melhores práticas na organização, etc.

- Champion (campeões). Os campeões reportam diretamente para o executivo líder. Segundo Pande *et al* (2001) os campeões devem assegurar o desenvolvimento das habilidades dos BB's (*Black Belts*) levando em consideração as necessidades da organização. É o papel básico da alta gerência para: definir projetos alinhados ao planejamento estratégico, definir o grupo de trabalho (*Black Belts/Green Belts*), prover os recursos necessários e cobrar resultados.

- Sponsor (patrocinadores). Os patrocinadores são pessoas que propõem projetos *six sigma*, geralmente são diretores que visualizam oportunidades de melhorias. Eckes (2001) propõe duas responsabilidades principais para os patrocinadores: eliminação dos obstáculos que possam atrapalhar o sucesso da equipe e tomar decisões sobre possíveis propostas de solução do resultado de trabalho da equipe.

- Master Black Belt (Super Faixas Pretas). Especialista em estatística com conhecimento profundo do próprio negócio, que oferece consultoria interna aos líderes de projeto, os *Black Belts*. Atuando como multiplicador, o *Master Black Belt* (MBB) fornece suporte estatístico quando os projetos apresentam complicações técnicas. Figura existente apenas em empresas de grande porte. Para empresas de médio e pequeno porte o *Black Belt* ou uma empresa de consultoria assume estas atividades.

- Black Belt (Faixas Prestas) - É o líder de grandes projetos dentro de uma determinada área na empresa. O *Black Belt* geralmente é um colaborador com grande experiência na área em questão, tendo passado por muitas funções. Tal formação profissional permite que ele enxergue os projetos de *six sigma* de uma maneira global.

- Green Belt (Faixas Verdes) - Os *Green Belts* são os membros das equipes multifuncionais, com dedicação não - integral aos projetos. São funcionários especializados em suas tarefas e que também recebem treinamento nas técnicas estatísticas e da qualidade associadas ao *six sigma*.

3.1.4 Metodologia *Six Sigma*

Conforme Aguiar (2006, p. 206) “as duas metodologias de solução de problemas/gerenciamento mais utilizadas nos programas *six sigma* são o PDCA e DMAIC”.

O PDCA (*Plan* – planejar; *Do* – executar; *Check* – verificar e *Action* – Agir) é um método conhecido mundialmente e utilizado para melhoria e inovação de produtos, manutenção, serviços e processos. O Ciclo PDCA está representado na figura 3.2.

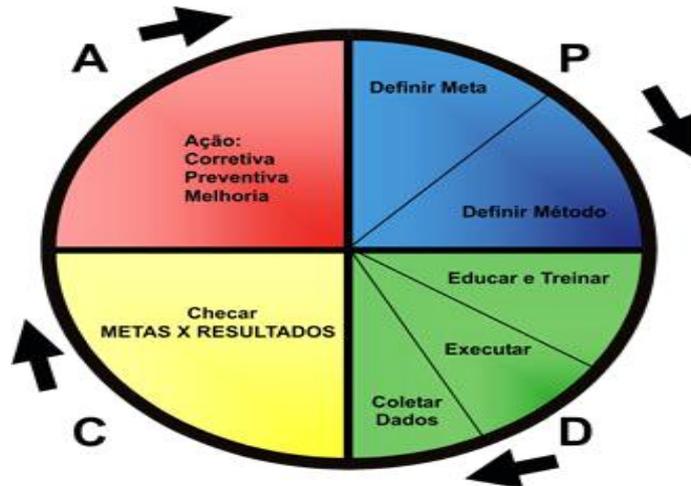


Figura 3.2: Ciclo PDCA
Fonte: Aguiar (2006)

O PDCA é um ciclo de análise e melhoria, criado por Walter Shewhart, em meados da década de 20 e disseminado para o mundo por *Deming* (WILLIAM EDUARDS DEMING). Esta ferramenta é de fundamental importância para a análise e melhoria dos processos organizacionais e para a eficácia do trabalho em equipe. Foi introduzido no Japão após a Guerra visando garantir o sucesso dos negócios das organizações, independente do tamanho, da área ou departamento da empresa. Segundo Braz (2002) o ciclo de *Deming* fornece um meio sistemático para vislumbrar uma melhoria contínua. Primordialmente utilizado na fase de desenvolvimento como um método de planejamento, é, na verdade, útil em todo o ciclo de vida do produto ou serviço. O Ciclo PDCA (em inglês *Plan, Do, Check e Action*) é uma ferramenta gerencial de tomada de decisões para garantir o alcance das metas necessárias à sobrevivência de uma organização. De acordo com Campos (1994, p. 133), este ciclo é composto das seguintes etapas:

Plan (planejamento): estabelecer uma meta ou identificar o problema (um problema tem o sentido daquilo que impede o alcance dos resultados esperados, ou seja, o alcance da meta); analisar o fenômeno (analisar os dados relacionados ao problema); analisar o processo (descobrir as causas fundamentais dos problemas) e elaborar um plano de ação.

Do (execução): realizar, executar as atividades conforme o plano de ação.

Check (verificação): monitorar e avaliar periodicamente os resultados, avaliar processos e resultados, confrontando-os com o planejado, objetivos, especificações

e estado desejado, consolidando as informações, eventualmente confeccionando relatórios. Atualizar ou implantar a gestão à vista.

Act (ação): Agir de acordo com o avaliado e de acordo com os relatórios, eventualmente determinar e confeccionar novos planos de ação, de forma a melhorar a qualidade, eficiência e eficácia, aprimorando a execução e corrigindo eventuais falhas.

3.1.5 Método DMAIC

Um método de implantação que ficou muito comum nas organizações e também é baseado no ciclo de PDCA é o denominado DMAIC.

O DMAIC (*Define* – definir; *Measure* – medir; *Analyze* – analisar; *Improve* - melhorar; *Control* - controlar) é uma metodologia de solução de problemas utilizada pela maioria das companhias americanas que empregam o Programa *Six Sigma*, conforme figura 3.3.



Figura 3.3: Ciclo DMAIC
Fonte: Empresa (2010)

Rivera e Marovich (2001) afirmam que a metodologia DMAIC representa as fases fundamentais no desenvolvimento de projeto *six sigma*. Essas fases garantem que as empresas apliquem a técnica em um metódico e disciplinado caminho, bem como a correta definição e execução dos projetos e incorporação dos resultados alcançados com eles. Os autores afirmam que a fase de definição é crítica e fundamental na garantia de sucesso do projeto.

3.1.5.1 Etapa *Define*

A característica básica da etapa definir do DMAIC é dar clareza aos objetivos da atividade de melhoria, definindo o problema a ser abordado, metas a serem alcançadas e os meios a serem abordados. Pande *et al* (2001, p. 239) apontam quatro perguntas críticas que precisam ser respondidas:

- Qual é o problema ou oportunidade no qual a organização vai focalizar?
- Qual é o objetivo, ou seja, que resultado se espera e em que prazo?
- Quem é o cliente servido por esse problema e processo?
- Qual o processo a ser investigado? E Por quê?

3.1.5.2 Etapa *Measure*

Nesta etapa são estabelecidas métricas confiáveis para auxiliar a monitoração do projeto no alcance das metas estabelecidas na etapa anterior (PYZDEK, 2003).

Segundo Adams *et al* (2003), a etapa Medir representa a identificação da situação corrente em relação ao problema ou oportunidade. É uma transição que serve para confirmar o problema antes de se iniciar a busca pelas causas-raiz do mesmo, objetivo desta etapa.

3.1.5.3 Etapa *Analyse*

A essência desta etapa é identificar as causas-raiz dos problemas que foram apontados na etapa anterior. São várias as ferramentas de qualidade que podem ser usadas nessa etapa, como: gráficos de pareto, diagrama de causa e efeito, histograma, *brainstorming*, gráficos de controle, etc.

Para Pyzdek (2003) busca-se maneiras para se eliminar as lacunas entre o desempenho atual do processo ou sistema e o objetivo desejado. Para isso são

realizadas análises exploratórias e descritivas para auxiliar a compreensão dos dados coletados, e ferramentas estatísticas são usadas para conduzir a análise.

3.1.5.4 Etapa *Improve*

Nesta etapa a equipe tem como objetivo propor, avaliar e implementar soluções em torno das causas-raiz localizadas anteriormente. Pande *et al* (2001) sugere algumas perguntas que devem nortear esta etapa:

- Que possíveis idéias ou ações podem contribuir para solução das causas-raiz do problema e alcançar resultados esperados?
- Quais ações são viáveis para alcance da meta?
- Qual solução pode ser mais viável no alcance da meta, reduzindo com isso custo e tempo de implementação?
- Como podemos testar a solução escolhida para garantir sua eficácia e após isso aplicar-la?

As ferramentas de qualidade mais indicadas nessa etapa são: Diagrama de Gantt, Diagrama de Processo Decisório, *5W2H*, entre outras.

3.1.5.5 Etapa *Control*

O objetivo desta etapa é assegurar que os ganhos obtidos na etapa anterior sejam institucionalizados na organização por meio de procedimentos, políticas, instruções operacionais, treinamentos, sistema de incentivos e outros sistemas de gerenciamento (PYZDEK, 2003).

Adams *et al* (2003) recomendam que os resultados alcançados sejam divulgados dentro da organização e que sejam exploradas as oportunidades de réplica em outras áreas. Está é uma oportunidade que os gestores do programa six sigma compartilhem experiências e acrescentem ensinamentos úteis para o próximo projeto dentro da organização.

3.1.6 Principais Ferramentas utilizadas no DMAIC

Várias publicações sobre o programa *six sigma* destinam parte de seu conteúdo a apresentação de ferramentas utilizadas no DMAIC e algumas, por vezes, são utilizadas em mais de uma etapa (PANDE *et al*, 2001; PYZDEK, 2003; ROTONDARO, 2002). Segue na tabela 3.2 algumas aplicações:

Tabela 3.2 – Aplicações da Ferramentas no DMAIC

Etapa do Projeto	Ferramentas Aplicadas
<i>Define</i> – Definir	Dados internos da empresa Dados dos clientes Escopo do Projeto VOIC (<i>Voice of the Customer</i>) Fluxograma e/ou Mapeamento de Processo QFD (<i>Quality Function Deployment</i>) SIPOC (<i>Supplier, Input, Process, Output, Customer, Benchmarking</i>)
<i>Measure</i> – Medir	MSA (<i>Measurement System Analysis</i>) Histograma Capacidade do Processo Pareto Diagrama de Dispersão
<i>Analyse</i> – Analisar	Diagrama de <i>Ishikawa</i> <i>Brainstorming</i> Gráficos de Acompanhamento CEP (Controle Estatístico do Processo) Análise multivariada Testes Estatísticos

	<p>FMEA (<i>Failure Mode and Effect Analysis</i>)</p> <p><i>Poka-Yoke</i> (Dispositivo a prova de falha)</p> <p>Simulação de processos</p>
<i>Improve</i> – Melhorar	<p>Ferramentas de Gerenciamento de Projetos</p> <p>Protótipos</p> <p>Ferramentas do <i>Lean Manufacturing</i> (produção enxuta)</p>
<i>Control</i> – Controlar	<p>Novos Procedimentos</p> <p>Reuniões</p> <p>Treinamentos</p> <p>Gráfico de Acompanhamento</p> <p>CEP (Controle Estatístico do Processo)</p> <p>FMEA (<i>Failure Mode and Effect Analysis</i>)</p>

Fonte: Pande *et al*, (2001); Pyzdek, (2003); Rotondaro, (2002).

Basu e Wright (2003) apresentam uma vasta lista de ferramentas tipicamente utilizadas no *six sigma* e sugere que os próprios *belts* possam construir uma matriz para uso mais eficaz e eficiente das ferramentas ao longo da etapa do DMAIC.

3.1.7 Ponto-Chave para o sucesso do Projeto *Six Sigma*

Existem alguns princípios determinantes para o sucesso do *six sigma*. Pande (2001) enumera seis pontos-chave:

1. Foco genuíno no cliente: que consiste na superação dos modismos e promessas sem nenhuma fundamentação estratégica de *satisfazer as necessidades*

dos *clientes* e assegurar, através das medidas de desempenho, o impacto das melhorias *six sigma* sobre a satisfação e os valores dos clientes;

2. Gerenciamento dirigido por dados e fatos: que supõe a aplicação de uma rígida disciplina *six sigma*, destacando a importância de medidas como suporte para avaliar o desempenho dos negócios e aplicação de dados e análises para construir e compreender as variáveis-chave que otimizam resultados;

3. Foco em processo, gestão e melhoria: pois o *six sigma* considera os processos como o centro das ações e o veículo-chave para o sucesso, portanto, o domínio sobre os processos é a maneira mais segura de garantir a obtenção de vantagens competitivas que oferecem valor aos clientes;

4. Gestão proativa: é uma prática proativa de gerenciamento dinâmico que define objetivo, determina prioridades, previne problemas e questiona a prática das diferentes atividades da empresa;

5. Colaboração e compartilhamento: é a compreensão das necessidades dos usuários, das etapas do processo e do fluxo ou da cadeia de fornecimento do processo por todos que desenvolvem atividades na empresa; e

6. Busca da perfeição e tolerância ao fracasso: é o equilíbrio entre a implementação de novas idéias e métodos e o gerenciamento dos riscos até conseguir atingir o objetivo do *six sigma* e forçar a organização a ser cada vez mais perfeita.

Hahn (2000) afirma que a aplicação dos pontos-chave do *six sigma* permite uma mudança de enfoque das empresas em todos os elementos de desempenho, principalmente nas áreas de projetos de produto e operações comerciais.

CAPÍTULO IV

4.1 LÓGICA *FUZZY*

O polonês Jan Lukasiewicz, foi quem deu o primeiro passo para a lógica de incerteza, nos meados das décadas de 1920 e 1930. Ele propôs uma lógica baseada em outros valores, além de verdadeiro e falso, incluindo três valores: 0, $\frac{1}{2}$ e 1 (BRULE, 1985).

Porém, quem tratou corretamente este conceito foi Lotfi Asker Zadeh, num artigo em 1965 (ZADEH, 1968). Nesse artigo ele detalhou a teoria dos conjuntos *fuzzy* ou teoria dos conjuntos nebulosos, onde, a idéia era a noção de graus de pertinência onde um conjunto poderia ter elementos que pertenciam parcialmente a ele. Depois da década de 60 quando a teoria foi apresentada, encontraram seguidores em outros países, a começar em 1972 pelo Japão, que formou o primeiro grupo de pesquisas sobre sistemas *fuzzy*. Em 1974, no Reino Unido foi apresentado o primeiro controlador *fuzzy* por Ebrahim Mandami. Em 1976, houve a primeira aplicação industrial em *fuzzy* com o objetivo de controlar os fornos das fábricas de cimento, na Dinamarca. Em 1977, Didier Dubois aplicou a lógica *fuzzy* em um estudo de tráfego urbano e no mesmo ano Hans Zimmermann criou o primeiro sistema especialista em *fuzzy*. Já em 1987, foi inaugurado o primeiro trem controlado com teoria *fuzzy*, em Sendai. A partir de então vários foram os pesquisadores que buscaram aplicar a lógica *fuzzy* para controlar sistemas de engenharia (REZNICK, 1997; ORTEGA, 2004).

4.1.1 O Porquê da utilização da Lógica *Fuzzy*?

De forma instrutiva a lógica *fuzzy* é uma ferramenta capaz de capturar informações vagas, em geral descritas em uma linguagem natural e converter-las para um formato numérico. Esta permite simular o processo do raciocínio humano e tomar decisões baseados em dados incertos (ZADEH, 1968).

É uma abordagem sugerida para tratar sistemas complexos, envolvendo tanto variáveis quantitativas e qualitativas sujeitas a variações probabilísticas relevantes

ou descritas por bases de dados incompletas e diferentes. Seu processo decisório baseia-se em variáveis lingüísticas que simulam e replicam elementos do pensamento humano como: baixo, médio, alto ou aproximadamente, em torno de, dentre outros (KACPRZYK, 1997).

Para Simões (2007, p. 8) "a lógica *fuzzy* é também útil em tarefas de tomadas de decisão, onde as variáveis individuais não são definidas em termos exatos". Os principais fatores que a tornam indicada para o controle de um processo industrial são: inexistência de um sistema de controle de processo, por ser demasiado complexo ou custoso o desenvolvimento; processo controlado por especialistas humanos; especialistas conseguem verbalizar as regras de controle do processo.

4.1.2 Lógicas: Clássica e *Fuzzy*

Para um melhor entendimento da lógica *fuzzy* é necessário entender a diferença entre a teoria dos conjuntos clássicos e a teoria dos conjuntos *fuzzy*. A chamada lógica clássica, é definida como binária baseada em "0" ou "1", ou seja, algo é sim ou não, falso ou verdadeiro. Nos modelos clássicos as variáveis possuem valores reais, as relações são definidas em termos de funções matemáticas e as saídas são valores numéricos exatos (KACPRZYK, 1997).

Através da História, Aristóteles tem sido considerado o pioneiro no campo da lógica clássica. Na Grécia antiga se utilizava a oratória na defesa ou refutação de idéias nos seus debates públicos. Aristóteles, então, desenvolveu uma técnica denominada lógica de silogismos para analisar e avaliar argumentos. O exemplo mais clássico do uso da lógica de silogismos aristotélica é o seguinte silogismo: *Todo homem é mortal; A é um homem; como conclusão, A é mortal*. Nessa lógica, o argumento consiste em três proposições: a primeira, chamada premissa maior, a segunda, chamada premissa menor, e a terceira, conclusão. Admitida a coerência das premissas, a conclusão se infere da maior por intermédio da menor. O uso da lógica aristotélica implica em que todas as coisas possam ser identificadas como pertencendo a uma categoria ou a outra. Não há espaço para ambigüidade, não há a concepção de "parcialmente" ou "muito" – tudo existe em categorias mutuamente exclusivas.

Por volta de cem anos depois de Aristóteles, Chrysippus propôs a lógica proposicional como forma de se entender as proposições compostas (as sentenças) como verdadeiras ou falsas, dependendo de seus componentes. Mil anos depois, o monge Franciscano inglês William of Ockham (1285-1349 a.C.) desenvolveu a lógica modal no século XIV, que inclui conceitos como possibilidade, necessidade, crença e dúvida. Em 1854, Boole publicou seu livro *An Investigation of The Laws of Thought on Which are Founded the Mathematical Theories of Logic and Probabilities*, onde ele traduz os operadores aritméticos de adição, subtração e multiplicação criando seus equivalentes para a teoria dos conjuntos, ou seja, a operação de união por meio dos mínimos, a operação de intersecção por meio dos máximos e o “não” de conexão.

Essa lógica Booleana foi então codificada para a lógica simbólica por Russell e Whitehead em *Principia Mathematica*, publicado em 1917. Dessa maneira, a fundação da lógica formal é geralmente atribuída a Russell e Whitehead (Parsaye e Chignell, 1988).

Dessa maneira, quando a lógica clássica é aplicada a um conjunto contendo argumentos e predicados que criam uma sentença para expor um fato, ou quando um conectivo lógico é introduzido para formar uma sentença composta, o resultado ou é falso ou é verdadeiro. Ou seja, na teoria clássica, sendo U o conjunto universo (clássico), a função característica relativa ao subconjunto A (subconjunto de U) de x (elemento de U) é definida como:

$$\chi_A: U \rightarrow (0,1)$$

Para qualquer elemento $x \in U$, $\chi_A(x)=1$, se e somente se x está em A , e $\chi_A(x)=0$ se e somente se x não é elemento de A . Assim, a caracterização dos elementos de U está entre ser membro ou não ser membro do subconjunto de A , dividindo o conjunto em duas partes com fronteira bem definida (KLIR e FOLGER, 1988).

A teoria dos conjuntos *fuzzy* é em grande parte uma extensão da teoria clássica. Com o desenvolvimento da lógica *fuzzy* tornou-se possível a aplicação do conceito de verdade parcial, podendo assumir outros valores além de “0” e “1” (REZNIK, 1997).

A lógica *fuzzy* não utiliza probabilidades nem trata as incertezas como passíveis de aleatoriedade. As teorias que envolvem os conjuntos *fuzzy* tratam a incerteza e a ambigüidade como determinísticas. Onde os teóricos da lógica Bayesiana enxergam probabilidades, os teóricos da lógica *fuzzy* enxergam diferentes quantidades de pertinência a eventos que não são prováveis, mas são eventos reais. Quando se faz uma série de inferências ou declarações preditivas, esses são predicados modificadores de descrições prévias que representam vários graus de certeza com relação à ocorrência, e que são determinísticos na sua origem.

4.1.3 Variáveis Lingüísticas

As variáveis lingüísticas representam o conhecimento do especialista em inferência *fuzzy*. Estes parâmetros são denominados de variáveis de entrada e saída do sistema *fuzzy*, os *quais* são representados em termos lingüísticos. Os sistemas baseados em lógica *fuzzy* são semelhantes a sistemas especialistas no que tange as relações lingüísticas, eles podem ser aplicados a sistemas de apoio a decisão, tais como fluxo de caixa, seleção e recrutamento de pessoal, e avaliação de objetivos estratégicos (KACPRZYK, 1997).

Uma variável lingüística é uma variável cujo valor é expresso qualitativamente em termos lingüísticos e quantitativamente por uma função de pertinência. A figura 4.1 ilustra o exemplo da variável "desperdícios" como uma variável lingüística e tal variável foi desdobrada em quatro termos lingüísticos: *nulo*, *baixo*, *médio* e *elevado*.

O desdobramento em quatro termos lingüísticos fornece um conceito qualitativo do desempenho do processo produtivo em relação à sua confiabilidade produtiva. A atribuição quantitativa dessas faixas é delimitada por meio de funções de pertinências, próximo tópico a ser estudado. A seguir apresentar-se a exemplificação de uma função de pertinência, ou seja, a valorização quantitativa estabelecida por especialistas.

- Nulo: zero defeito;
- Baixo: 1 a 4 defeitos;

- Médio: 5 a 6 defeitos e
- Elevado: acima de 7 defeitos.

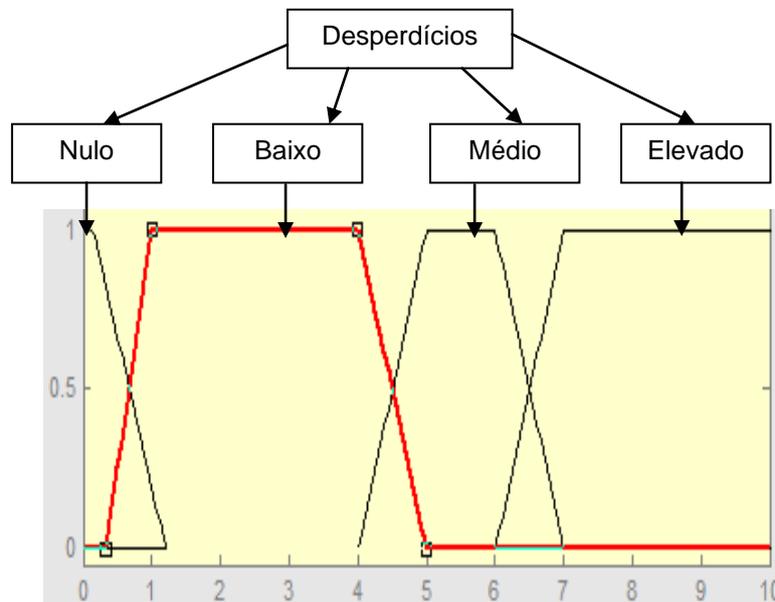


Figura 4.1: Variável Linguística "Desperdícios".
Fonte: Proposta do Autor (2010)

4.1.4 Funções de Pertinências

Para Simões; Shaw (2007, p. 46) "uma função de pertinência é uma função numérica *gráfica* ou *tabulada* que atribuem valores de pertinências *fuzzy* para valores discretos de uma variável, em seu universo de discurso". A figura 4.2 mostra o exemplo de uma função de pertinência, em que o eixo vertical representa o intervalo $[0,1]$ e o eixo horizontal representa o universo do discurso.

Os gráficos de funções de pertinências podem ter diferentes formas e representações, conforme ilustra a figura 4.3. Porém, as mais usadas são as trapezoidais e as triangulares, e, destas a função de pertinência triangular é a mais empregada (CENTER, 1998; SIMÕES; SHAW, 2007).

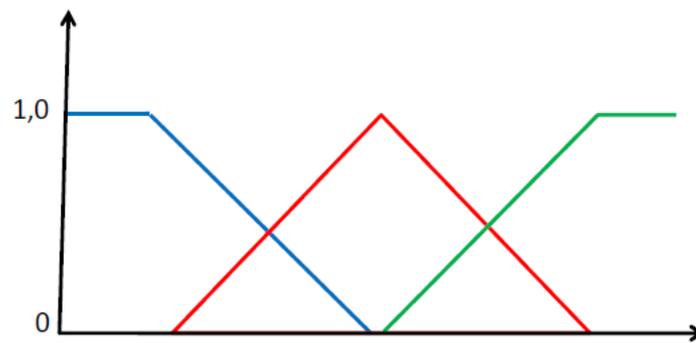


Figura 4.2: Exemplo de Função de Pertinência
 Fonte: baseado em Center (1998)

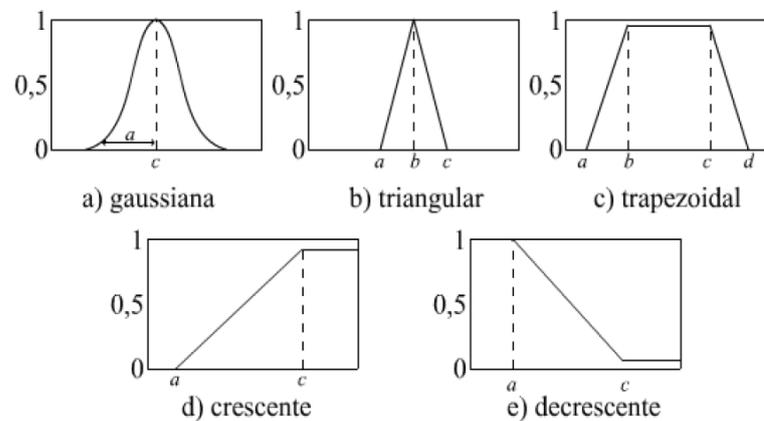


Figura 4.3: Tipos de Funções de Pertinência
 Fonte: Baseado em Simões; Shaw (2007); Center (1998)

A seguir iremos ver informações sobre as funções de pertinências: triangular e trapezoidal.

4.1.4.1 Funções de Pertinências Triangular

Este tipo de função serve para indicar apenas um ponto máximo no conjunto e é definida conforme expressão 4.1.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & \text{se } x < a \\ \frac{x - a}{m - a} & \text{se } x \in [a, m] \\ \frac{b - x}{b - m} & \text{se } x \in [m, b] \\ 0 & \text{se } x > b \end{cases} \quad (4.1)$$

A figura 4.4 mostra um exemplo de função triangular, no qual m é o valor modal e a e b representam o limite inferior e superior, respectivamente.

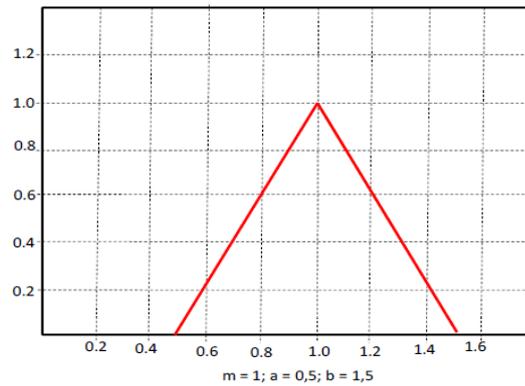


Figura 4.4: Função de Pertinência Triangular
Fonte: Baseado em Barros e Bassanezi (2006)

4.1.4.2 Funções de Pertinências Trapezoidal

Conforme Barros e Bassanezi (2006) a função de pertinência trapezoidal representa todo o intervalo de pontos de máximos, conforme a figura 4.5.

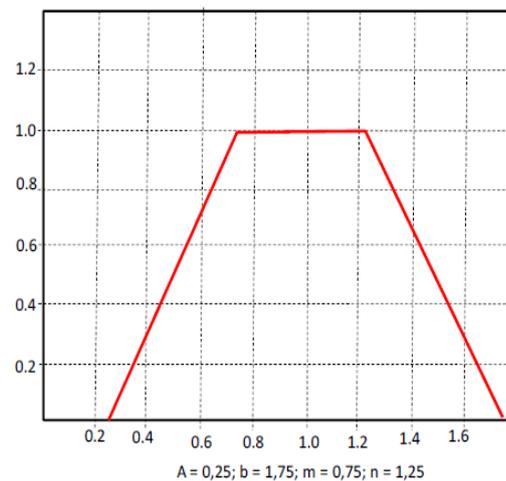


Figura 4.5: Função de Pertinência Trapezoidal
Fonte: Baseado em Barros e Bassanezi (2006)

A função trapezoidal também pode ser representada pela equação 4.2:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & \text{se } x < a \\ \frac{x-a}{m-a} & \text{se } x \in [a, m] \\ 1 & \text{se } x \in [m, n] \\ \frac{b-x}{b-m} & \text{se } x \in [n, b] \\ 0 & \text{se } x > b \end{cases} \quad (4.2)$$

4.1.5 Base de Regras *Fuzzy*

A construção de um sistema de lógica *fuzzy* é baseada na idéia de incorporar conhecimentos de especialistas. Por isso, a estratégia de controle é representada por um conjunto de regras de decisão (Center, 1998)

O autor afirma ainda que, sistemas baseados em lógica *fuzzy* contém quatro componentes: um processador de entradas que realiza a *fuzzificação* dos dados, uma coleção de regras *fuzzy* chamada base de regras, uma máquina inferência *fuzzy* e um processador de saída que fornece um vetor de saída conforme indicado na Figura 4.6.

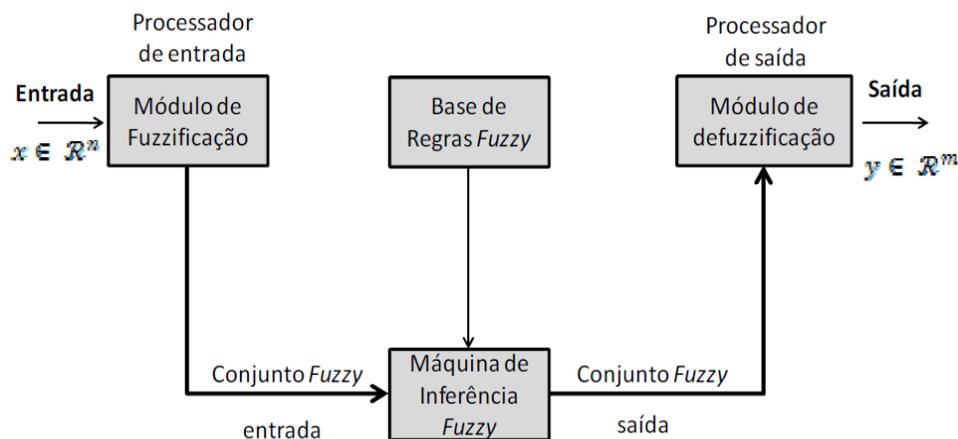


Figura 4.6: Esquema Geral do Sistema *Fuzzy*.

Fonte: Barros e Bassanezi (2006)

Onde o módulo de *fuzzificação* é o estágio onde as entradas do sistema são modeladas por conjuntos *fuzzy* com seus respectivos domínios. É nele que se justifica a grande importância dos especialistas do processo a serem modelados.

Neste estudo os especialistas definiram as entradas a partir da metodologia *six sigma*, utilizando a reunião de *brainstorming* e diagrama *Ishikawa*. Para Simões e Shaw (2007) a *fuzzificação* é um mapeamento do domínio de números reais (em geral discretos) para o domínio *fuzzy*. A *fuzzificação* é uma espécie de pré-processamento de categorias ou sinais de entrada, reduzindo grandemente o número de valores a serem processados.

O módulo de base de regras, juntamente com a máquina de inferência *fuzzy*, pode ser considerado o núcleo do controlador *fuzzy*. Uma base de regra tem a seguinte forma, conforme figura 4.7.

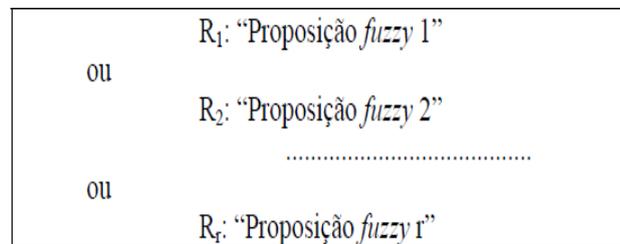


Figura 4.7: Forma Geral de uma Base de Regras *Fuzzy*.

Fonte: Barros e Bassanezi (2006)

Em sistemas baseados em regras *fuzzy*, cada proposição tem a forma: **SE**, "condição" **ENTÃO** "ação". Em que cada "condição" e cada "ação" são valores assumidos por variáveis lingüísticas que por sua vez são modelados por conjuntos *fuzzy* (BARRSO; BASSENEZI, 2006).

Um exemplo pode ser claramente visualizado na frase abaixo.

"Se a temperatura está muito alta, ligar o ar condicionado em muito frio".

Esta regra pode ser escrita em termos de variáveis lingüísticas da seguinte forma:

Se temperatura = alta **então** ar-condicionado = frio.

Construído o conjunto de regras, os índices de pertinência calculados são atribuídos a um processo de inferência para extrair a resposta final. Quanto ao método de inferência, basicamente, as literaturas mostram dois métodos o de *Mamdani* e o de *Kang-Takagi-Sugeno* - KTS. A diferença entre estes dois métodos recai no tipo de variável de resposta e no procedimento de *fuzzificação*.

Para este trabalho o método de inferência escolhido é o *Mamdani*, por ser um método simples, intuitivo, mais eficiente quanto à rapidez computacional e tem menos propriedades matemáticas que o método KTS (SIMÕES; SHAW, 2007).

Após a escolha do método, o último passo desse processo é o cálculo do valor da saída, ou seja, a *defuzzificação*.

O módulo de *defuzzificação* transforma o conceito lingüístico, obtido do procedimento de inferência, em um valor numérico bem definido, o qual é utilizado como saída efetiva do sistema *fuzzy* (HAJI; ASSAD, 2009). Os métodos mais conhecidos de defuzzificação são: centro de área (C-o-A), centro do máximo (C-o-M) e média dos máximos (M-O-M).

Para este estudo o método de *defuzzificação* escolhido foi o Centro de Área (C-o-A), pois o mesmo dá a média das áreas de todas as figuras que representam os graus de pertinência de um subconjunto *fuzzy* (BARROS; BASSANEZI, 2006).

CAPÍTULO V

5.1 APLICAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

O estudo de caso descreve a aplicação da metodologia *six sigma* na linha de produção de LCD's (*Liquid Crystal Display*) de uma empresa multinacional do ramo eletro-eletrônico do Pólo Industrial de Manaus, visando o aumento de produtividade. Com este foco, foi proposta uma modelagem computacional *fuzzy* com criação de uma base de regras orientando o gestor na tomada de decisões.

5.1.1 Contextualização do objeto de estudo

A empresa analisada é vice-líder na categoria de fabricação de LCD's e pertence a uma multinacional japonesa, que fabrica uma infinidade de produtos eletro-eletrônicos como: aparelhos de som, *home thelfer*, máquinas fotográficas digitais, filmadoras, som para carro, etc.

Está instalada a mais de 20 anos no Pólo Industrial de Manaus ocupando uma área construída de 16.219 m², conforme figura 5.1. No início de suas atividades teve como carro chefe a produção de aparelhos de som (áudio) e atualmente, acompanhando este novo cenário tecnológico o novo carro chefe de vendas está sendo a linha de produção de LCD's, o qual será o objeto de estudo dessa dissertação no que se refere o crescimento de produtividade.

A empresa possui distribuição de seus produtos em nível nacional, tendo como principal público alvo as regiões sudeste e sul do país e atualmente tem exportado alguns produtos para a América do Sul. Possui unidades em São Paulo e Manaus, com atividades no ramo de Desenvolvimento, Produção, *Marketing* de Produtos Eletrônicos e Assessoria Técnica assumindo o compromisso de atender aos requisitos do cliente e outros aplicáveis, bem como incorporar o respeito à natureza e a prevenção da poluição em suas atividades, através:

- *Da melhoria continua do Sistema Integrado de Gestão da Qualidade e Meio Ambiente, por intermédio de desenvolvimento de processos, produtos e*

serviços que visem à satisfação do cliente e minimização de impactos ambientais;

- *De uma estrutura permanente que estabeleça, analise criticamente, audite e proporcione os objetivos e metas da Qualidade e do Meio Ambiente;*
- *Do atendimento aos padrões ambientais estabelecidos pela legislação e regulamentos vigentes no país;*
- *De programas de treinamento e conscientização à Qualidade e Meio Ambiente a funcionários, prestadores de serviços e fornecedores”.*



Figura 5.1: Vista aérea do parque fabril
Fonte: Manual da Qualidade (2009)

5.1.1. Unidade Fábrica de LCD

A unidade LCD, objeto de estudo deste trabalho, é encarregada da fabricação de produtos ligados a área de televisores. Atua em um mercado altamente competitivo, com aproximadamente seis outros concorrentes, a maioria multinacionais presentes em vários países, atuando na mesma área. Essa unidade conta com uma estrutura de 500 funcionários que são divididos em mão-de-obra direta e indireta, denominados colaboradores diretos (operários) e colaboradores

indiretos (administrativos). Sua produção atual é composta de 500.000 aparelhos por ano, entre os diversos modelos que compõe sua linha de produtos.

A empresa tem adotado uma estratégia de relacionamento de médio e longo prazo com seus principais fornecedores, estabelecendo via de regra, parcerias operacionais com grandes empresas americanas, européias e asiáticas, que fornecem pacotes completos de peças e insumos necessários à produção de uma determinada linha de produtos.

Com isso, é possível absorver mais facilmente as novas tecnologias, ao mesmo tempo em que facilita a administração da rotina do negócio. Todas as atividades do dia a dia, inerentes à operação, são tratadas com poucos fornecedores, facilitando a comunicação, e obtendo-se grande agilidade no processo produtivo.

A principal estratégia adotada Unidade LCD para manter-se competitiva neste mercado é constituída por um tripé:

- manter a constante atualização tecnológica de seus produtos, para poder ser competitiva com produtos similares fabricados em qualquer lugar do mundo;

- manter sempre uma grande eficiência nos seus processos internos, tanto no que tange à manufatura propriamente dita, quanto aos processos de gestão e gerenciamento da unidade; com isso espera-se manter os preços de seus produtos competitivos quando comparados com os preços praticados por outros fabricantes localizados em território nacional, ou com produtos importados; e

- aprimoramento constante das habilidades e competências das equipes de colaboradores da unidade que, em última análise, serão responsáveis pelo seu sucesso.

5.1.2 *Lay-out* da Unidade de Fabricação de LCD

A Figura 5.2 mostra a área produtiva da unidade de LCD, no qual produz aparelho de 32" a 46". Porém, nessa dissertação será analisado o modelo de 40" no qual é produzido na linha LCD3.

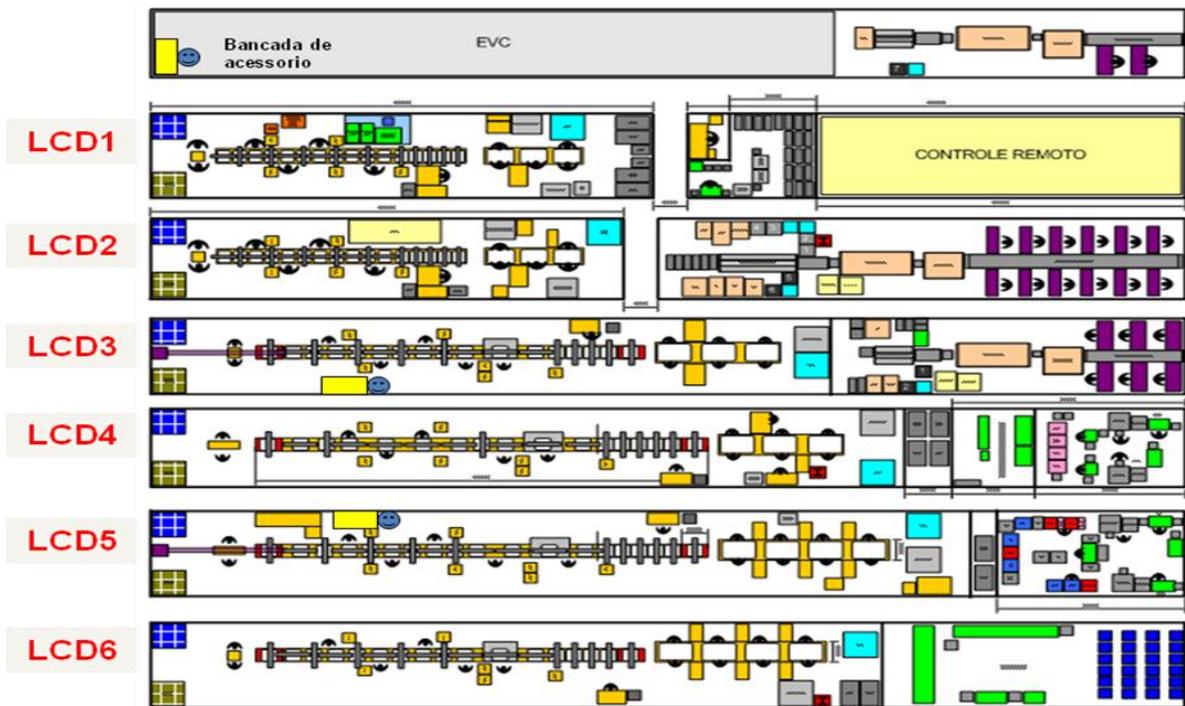


Figura 5.2: Lay-out da Unidade LCD
Fonte: Própria (2010)

O fluxo simplificado do processo tem a seguinte sequência:

- (1) montagem manual dos aparelhos, ou seja, parte do processo onde são montados os itens elétricos e mecânicos do aparelho;
- (2) área de aquecimento dos aparelhos, chamada de *aging*, essa área segue especificações técnicas relacionadas a temperatura do aparelho, cada aparelho em média passa 10 minutos;
- (3) seguida por uma área de testes e inspeções e
- (4) por fim a embalagem do produto, conforme Figura 5.3

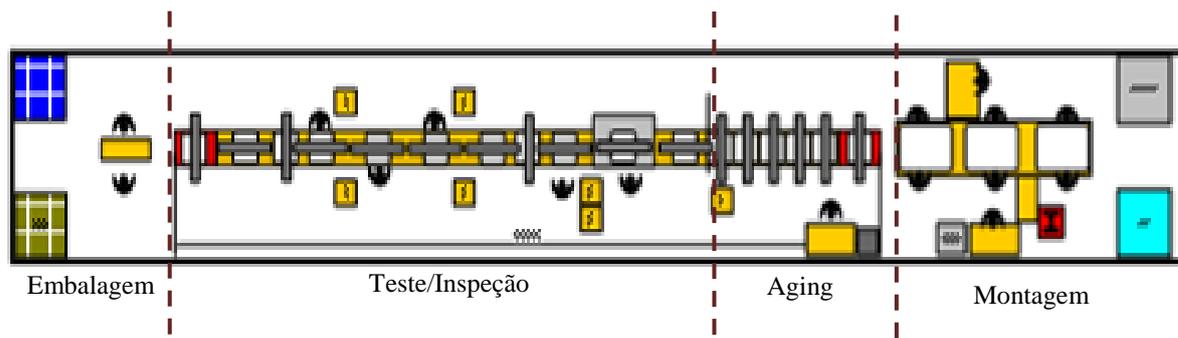


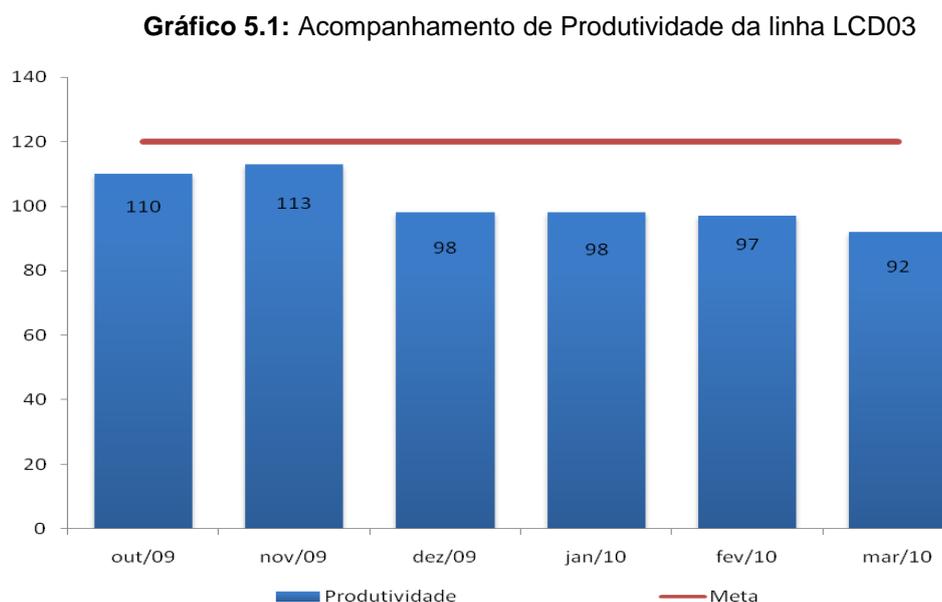
Figura 5.3: Lay-out Simplificado do Processo
Fonte: Própria (2010)

A linha de montagem LCD3, precisa atender uma demanda de 255 aparelhos por dia e para isso o tempo de ciclo necessário é de 120 segundos e uma carga horária de trabalho de 8,5 horas por dia. No final de março de 2010 a produtividade desta linha apresentava 101% o que corresponde a 210 aparelhos/dia.

É baseado nesse cenário que a alta direção da empresa solicitou soluções para o atendimento da produção diariamente e conseqüentemente alcance da produtividade. A motivação dessa dissertação é desenvolver uma modelagem computacional de mensuração da produtividade de uma linha de produção de LCD's (*Liquid Crystal Display* – Tela de Cristal Líquido) utilizando a metodologia *six sigma* e aplicação da lógica *fuzzy* para obtenção de uma base de regras que possa direcionar nas tomadas de decisões deste processo produtivo.

5.1.3 Aplicação da Metodologia *Six Sigma* no processo

O projeto *six sigma* foi desenvolvido baseado nos indicadores de produtividade, no qual foi verificado o histórico dos meses de outubro de 2009 a março de 2010 e pode verificar que a produtividade de dezembro de 2009 a março de 2010 apresentou uma queda gradativa, conforme mostra o gráfico 5.1



Fonte: Empresa (2010)

Após, levantamento dos dados de produtividade pelo *Champion* da organização, foram estabelecidos alguns parâmetros para execução deste projeto: quanto à meta: sair de 101% para 120% de produtividade; quanto ao tempo de execução: de março a agosto de 2010; quanto à avaliação: serão computados valores financeiro e índices de produtividade e quanto ao acompanhamento do projeto: será através de reuniões mensais na escala de *Black Belt* para *Green Belt* e bimestral para *follow up* (retorno do projeto) de *Black Belt* para *Champion*, conforme a figura 5.4.

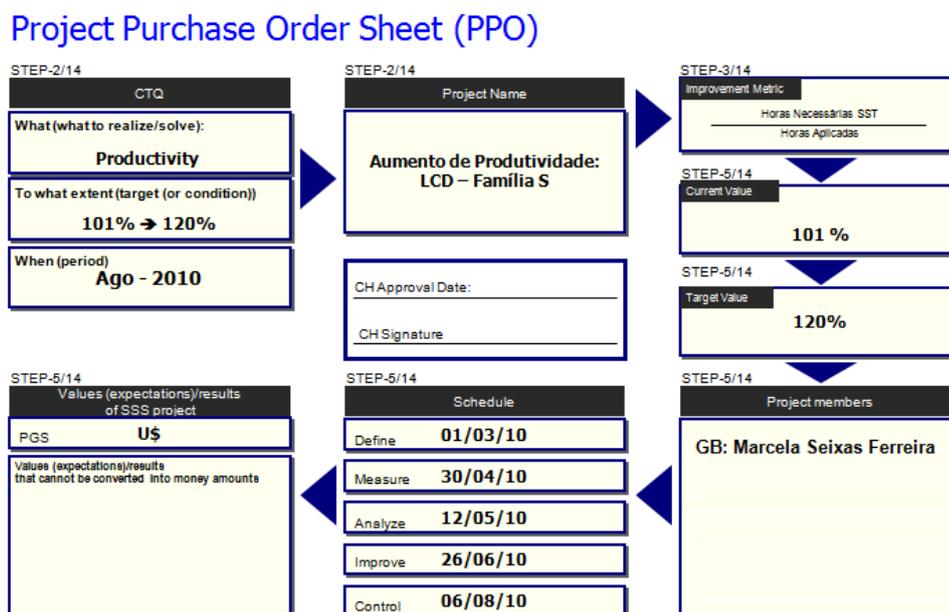


Figura 5.4: Parâmetros e Etapas para execução do Projeto Seis Sigma
Fonte: Empresa, (2010)

5.1.4 Etapas de Aplicação da Metodologia *Six Sigma*

A primeira etapa, constituída pelo reconhecimento da área, ou seja, observações de como se produz um aparelho de LCD. Nessa etapa a equipe do projeto tem o objetivo de entender o processo com relação à seqüência de montagem e itens técnicos que são essenciais ao produto, conforme apresentado na ilustração a seguir.

1. Montagem – nessa área o *lay-out* da linha é disposto em série, com montagem de dois operadores simultâneos – *double man*.

Essa linha foi projetada para que as atividades sejam feitas com o aparelho deitado, aonde, é feita uma divisão imaginária no aparelho – dois quadrantes. Essas atividades são distribuídas baseadas na folha de instrução de trabalho do produto. A figura 5.5 segue ilustração resumidamente essa parte do processo.

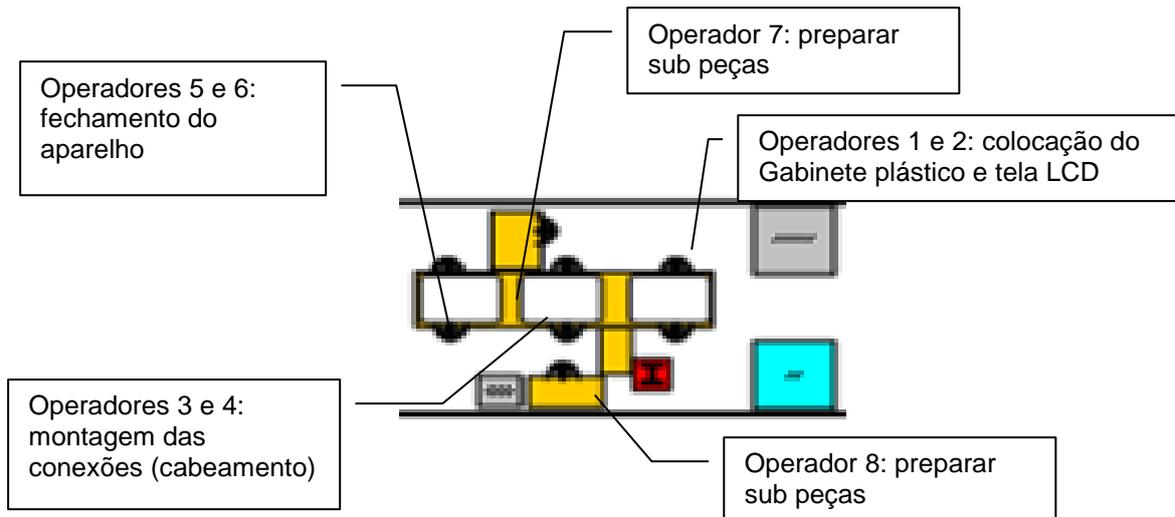


Figura 5.5: Processo de Montagem
Fonte: Empresa, (2010)

2. *Aging* – nessa fase do processo, os aparelhos são dispostos na linha de montagem na forma vertical, para ficarem energizados por 10 minutos. Esse aquecimento é necessário para que ao chegar à fase de testes e inspeções o aparelho esteja apto a receber os ajustes corretos.

3. Testes/Inspeções – esta fase é composta por cinco operadores, dos quais três tem a função de testar o aparelho, ou seja, ajustar os parâmetros de *software*. Dois operadores têm a função de inspeção que significa verificar as funções do aparelho, simulando o uso pelo cliente.

4. Embalagem – nessa fase após aprovação do aparelho nas fases anteriores, o mesmo, recebe número de série, manual de instrução e acessórios. Finalizando é palletizado (empinhado) e enviado a expedição da fábrica.

Após entendimento do processo, deu-se início a segunda etapa da metodologia *six sigma*: reunião de *brainstorming* (tempestade de idéias). Nessa fase participaram alguns especialistas desse processo produtivo: operadores, supervisor

de linha, engenheiro de processo, engenheiro de produto e analista da qualidade. E foram identificados alguns fatores, conforme Tabela 5.1.

Tabela 5.1: Brainstorming

ITEM	FATOR	CLASSIFICAÇÃO
1	Alimentação de material	Item controlado na empresa
2	Definição de montagem (folha de instrução de trabalho)	Item controlado na empresa
3	Definição de <i>lay-out</i> do processo	Item controlado na empresa
4	Ergonomia nos postos de trabalho	Item não controlado na empresa
5	Balanceamento das atividades do processo produtivo	Item não controlado na empresa
6	Disposição dos materiais nos postos de montagem	Item não controlado na empresa
7	Movimento desnecessário na execução das atividades	Item não controlado na empresa
8	Substituição de operadores no processo	Item controlado na empresa
9	Dispositivos para execução das atividades	Item controlado na empresa
10	Troca de modelo (<i>set-up</i>)	Item controlado na empresa

Fonte: Reunião na empresa (2010)

Na atividade de *brainstorming*, o objetivo da utilização dessa ferramenta é identificar os itens que são controlados pela empresa, ou seja, aqueles que existem procedimentos estabelecidos. Embora algum item seja controlado, isso não impede a equipe de propor melhorias, caso seja necessário. Os itens não controlados, são os itens no qual a equipe precisa analisar e propor melhorias, afim de que o mesmo passe a ser controlado pela empresa. Seguindo o programa *six sigma* estabelecido pela empresa, os dados coletados na reunião de *brainstorming* são adicionados no diagrama de *Ishikawa* - diagrama de causa e efeito, conforme ilustra a figura 5.6.

Segundo Oliveira (1996, p. 138): O diagrama Causa - Efeito permite identificar, com razoável clareza, a relação entre o efeito, sob investigação, e suas possíveis causas. A partir deste ponto, identificam-se as mais prováveis e merecedoras de

maior atenção. A identificação das causas exige a realização de uma seqüência de perguntas que evidenciem a ligação entre os fatos, normalmente, retroagindo-se a partir do efeito estudado, da direita (cabeça do peixe) para a esquerda (espinhas).

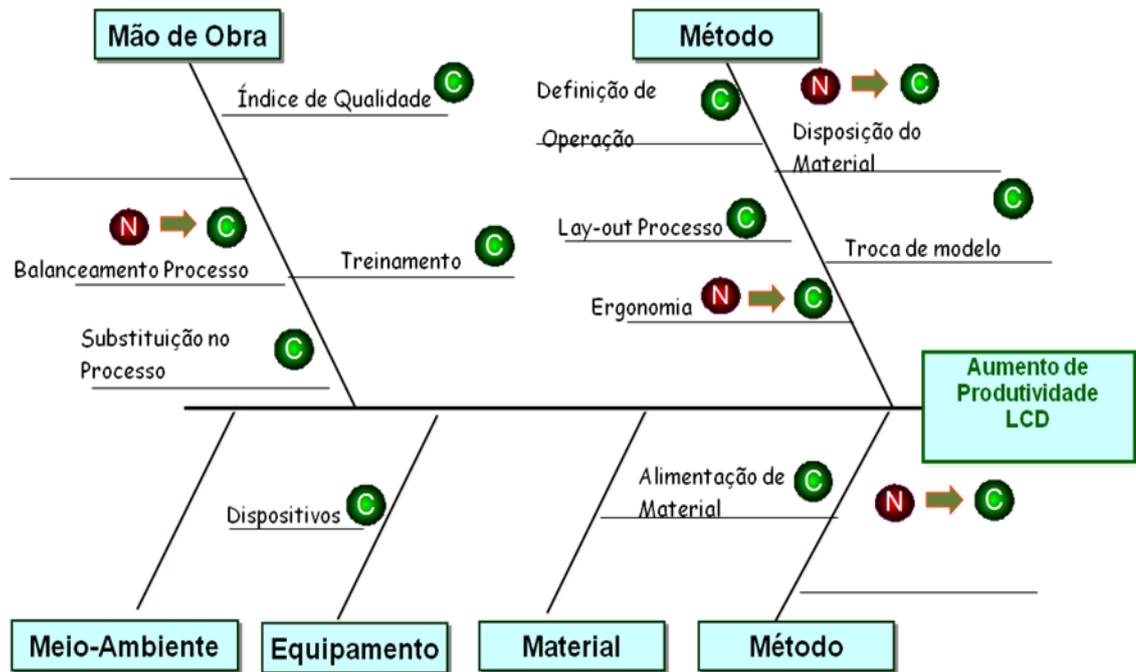
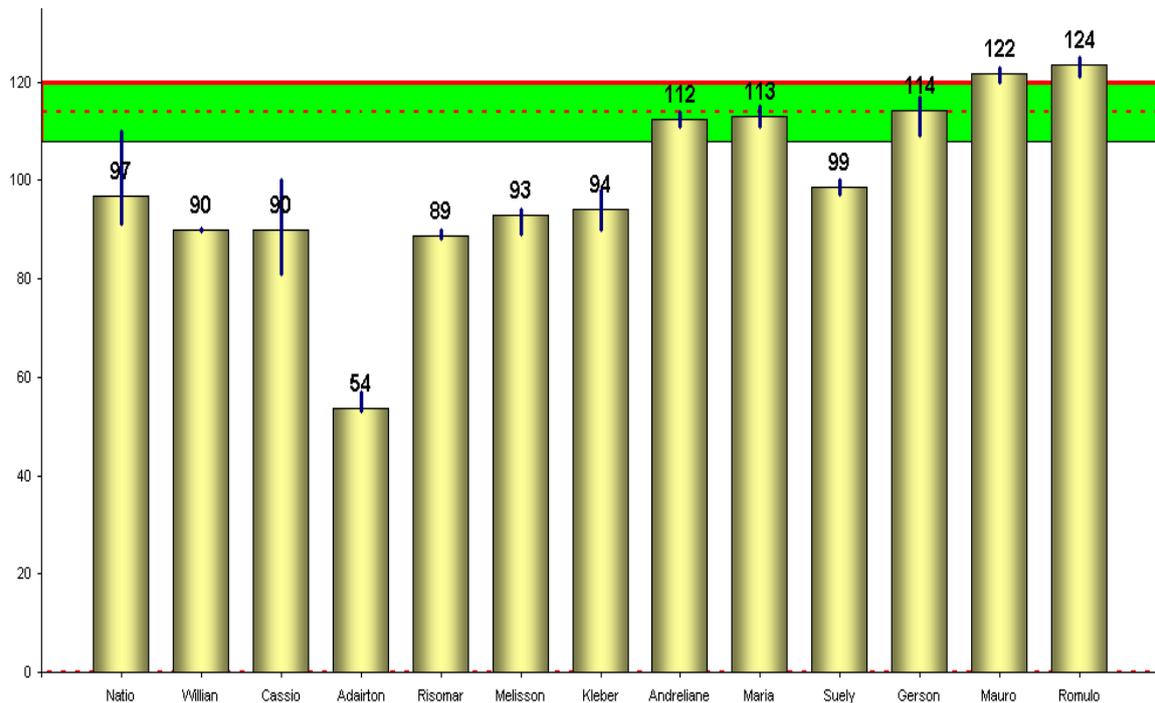


Figura 5.6: Diagrama de *Ishikawa*

Fonte: Baseado na Estrutura de Projeto da Empresa, (2010)

Na terceira etapa é realizada a cronometragem com tomada de 20 tempos (em segundos) por operador, com o objetivo de verificar graficamente os gargalos e ociosidades do processo.

Paralelo a essa atividade são estabelecidos os plano de ações para o alcance da meta proposta.

Gráfico 5.2: Cronometragem da linha LCD03

Fonte: Empresa (2010)

Conforme gráfico 5.2 podemos perceber que existe uma má distribuição das atividades, no qual após observação do engenheiro de processo serão estabelecidas ações para melhoria desse cenário. Para esta cronometragem foram coletados 20 tempos de cada operador num período de três dias e em diversos horários ao longo da carga horária de trabalho desta linha, que é de 8,5 horas por dia. O motivo de se cronometrar em diversos horários é que isso permite avaliar a variação de tempo de montagem de cada operador ao longo do dia.

Em conjunto com o estudo dos tempos, a equipe estrutura o plano de ação para estabelecer quais melhorias devem ser feitas, quem irá fazer, quando irá fazer e como irá fazer, visando o alcance da meta estabelecida, conforme tabela 5.2.

Colenghi (1997, p. 206), diz que “após a identificação das forças restritivas e impulsoras internas e externas, inicia-se o exercício do estabelecimento de ações preventivas e corretivas para combater as forças identificadas, além de outras ações que possam inovar os processos atuais e futuros”.

Tabela 5.2: Plano de Ação

What – o que?	Why – Por que?	Who – Quem?	Where – Onde?	When – Quando?	How – Como?
Processo Desbalanceado	Movimento dos operadores desnecessários	Engenharia de Processo	Linha LCD	Abril/2010	Redistribuição de atividades através da cronometragem semanal
				Abril/2010	Adequação nos postos das ferramentas de apoio
				Maio/2010	Definição de novo <i>lay-out</i> do processo
Ergonomia	Fadiga dos colaboradores	Engenharia de Processo	Linha LCD	Maio/2010	Estudo ergonômico nos postos
		Supervisor de Produção		Junho/2010	Melhorias de Processo através das técnicas de <i>kaizen</i>
Materiais Produtivos	Movimento dos operadores desnecessários	Engenharia de Processo	Linha LCD	Junho/2010	Adequação nos postos de trabalho conforme a seqüência de montagem
	Parada de Linha por falta de material	Analista de Materiais		Junho/2010	Revisão da quantidade e número de cartões <i>kanbans</i> necessários

Fonte: Elaborado durante fase do projeto (2010)

Após a estruturação do Plano de Ação inicia-se a quarta etapa: aplicação do plano de ação, conforme veremos a seguir:

Quanto ao fator processo desbalanceado a equipe percebeu que após a automatização da área de testes e inspeção, os operadores começaram a ficar ociosos, devido a essa situação houve um re-balanceamento no processo no qual algumas atividades foram distribuídas entres os operadores de testes, para que os mesmos realizassem enquanto o aparelho se encontrava em processo automático, de acordo com as ilustrações das figuras 5.2 e 5.8 que mostram a situação antes da melhoria e após melhoria:

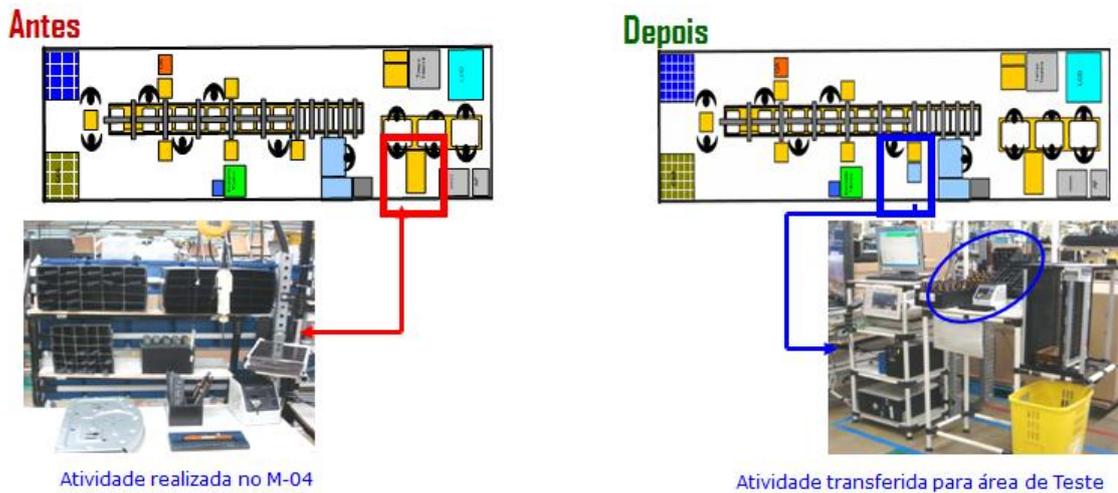


Figura 5.7: Exemplos de Melhoria de Processo
Fonte: Elaborado durante fase do projeto (2010)

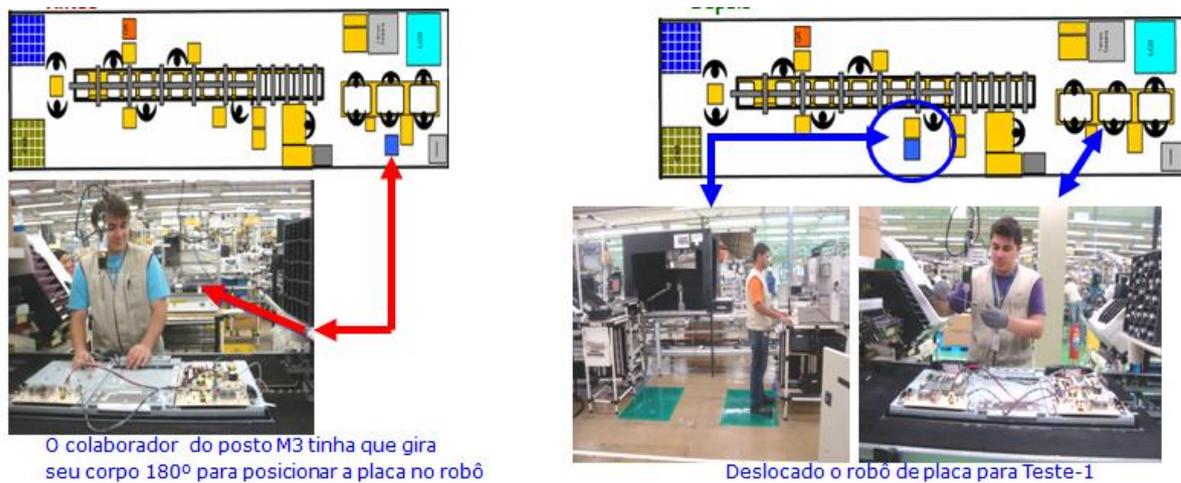


Figura 5.8: Exemplo de Melhoria de Processo
Fonte: Elaborado durante fase do projeto (2010)

Quanto à ergonomia, foi identificado que no posto de embalagem dos aparelhos de LCD, o operador para executar suas atividades precisava mover e/ou segurar o aparelho em diversas formas para ensacar o mesmo. O peso desse aparelho é de 37 kg, devido a essa situação o operador realizava vários esforços físicos. Para resolver essa situação a equipe solicitou confecção de uma bancada

com apoio inclinado para o aparelho, facilitando a atividade. Na figura 5.9 podemos perceber a seqüência dessa operação.



Figura 5.9: Exemplo de Melhoria de Processo
Fonte: Elaborado durante fase do projeto (2010)

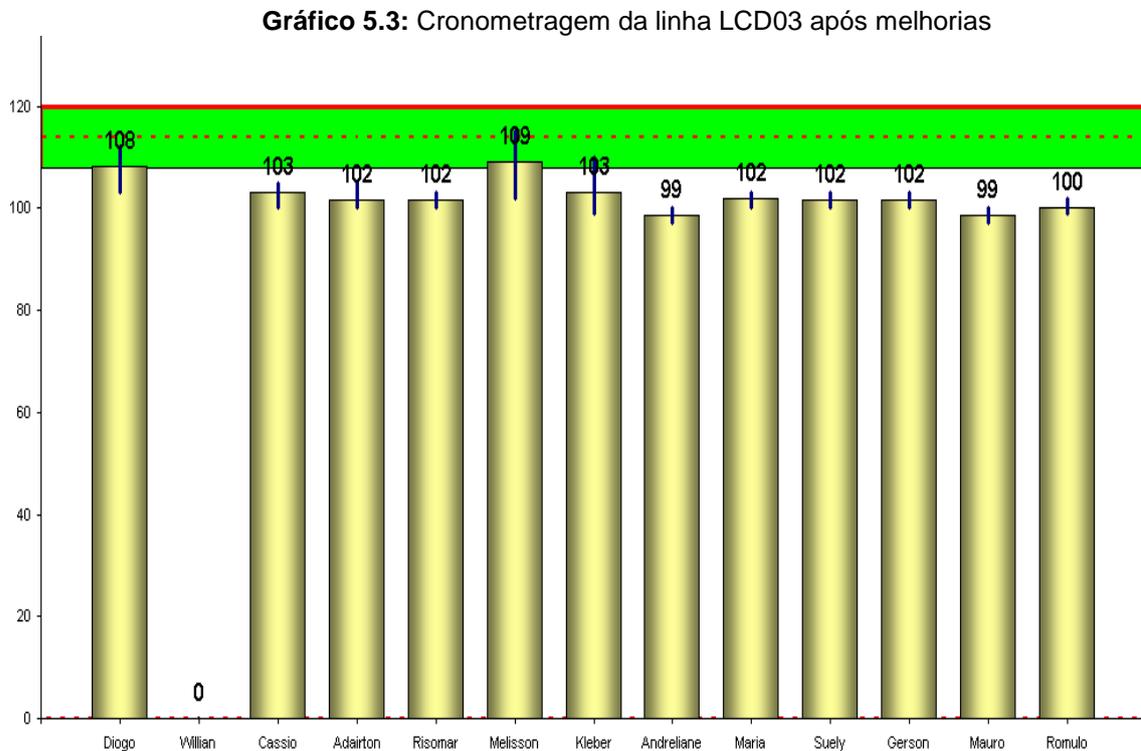
Quanto à disposição dos materiais nos postos de trabalho, a equipe identificou vários postos no qual o operador realizava movimentos desnecessário devido à alocação do material. Por exemplo: no posto de montagem do alto falante, a peça foi alocada inclinada e ficava a 50 cm de distância do operador, dificultando o manuseio da mesma até a montagem. Com a implantação da melhoria a peça ficou a 20 cm de distância do operador, facilitando a operação.



Figura 5.10: Exemplo de Melhoria de Processo
Fonte: Elaborado durante fase do projeto (2010)

Após a implantação das melhorias propostas no Plano de Ação inicia-se a quinta etapa: medição da melhoria através do estudo de tempo (cronometragem).

Essa fase levou 15 dias de cronometragem para validar as melhorias, conforme gráfico 5.3.

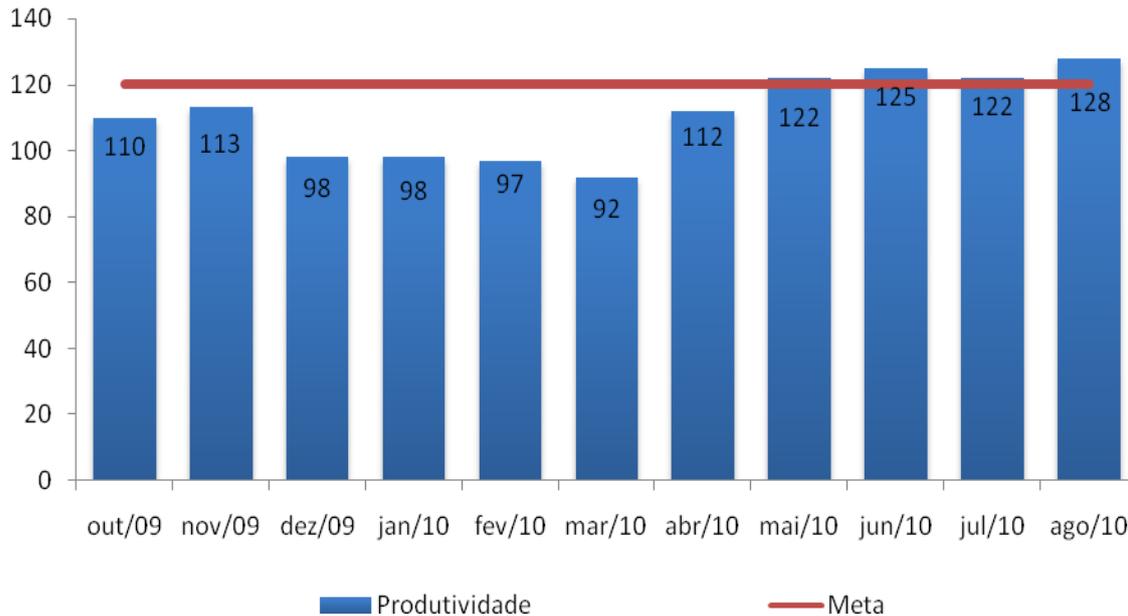


Fonte: Empresa (2010)

Conforme o gráfico 5.3, podemos avaliar que o resultado das melhorias foi satisfatório, pois todos os operadores ficaram abaixo da meta que é 120 segundos. Além disso, houve uma redução de um operador nesta linha, sem prejudicar o volume de produção, o que demonstra aumento de produtividade – fazendo mais ou a mesma quantidade com menos recursos.

Por fim, foi estruturada a carta de acompanhamento do processo demonstrando a evolução da produtividade do objeto de estudo ao longo dos meses de outubro de 2009 a agosto de 2010, conforme o gráfico 5.4.

Além da carta de acompanhamento, o relatório de FMEA é estruturado para futuras análises e o projeto é enviado ao *Black Belt* para elaboração dos testes estatísticos deste projeto.

Gráfico 5.4: Evolução da Produtividade na Linha LCD03

Fonte: Empresa (2010)

Conforme gráfico 5.4 podemos perceber que desde que a equipe começou a atuar no processo (março de 2010) para buscar soluções e conseqüentemente alcançar a meta proposta, houve uma evolução neste indicador de produtividade. Com isso, todos os parâmetros avaliados no modelo da linha LCD03 foram replicados para as demais linhas de produção, observando as especificações de cada modelo e claro buscando aumentar a eficiência desta unidade fabril.

Após aplicação da metodologia *six sigma* a equipe iniciou a modelagem em *fuzzy*.

5.1.5 Modelagem Computacional: lógica *fuzzy*

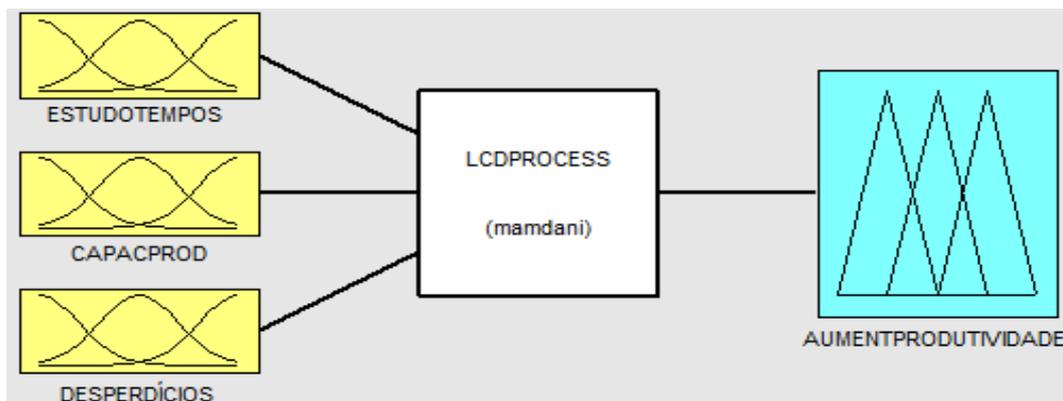
Paralelo ao projeto seis sigma a equipe utilizou uma modelagem computacional: lógica *fuzzy*, com o intuito de facilitar a tomada de decisão da linha de montagem de LCD. Os dados estratificados no diagrama de *Ishikawa* foram incluídos nas variáveis lingüísticas utilizadas na modelagem da lógica *fuzzy*, ou seja, servir de parâmetros para criação da base de regras na tomada de decisão, conforme a Tabela 5.3

Tabela 5.3: Variáveis Lingüísticas

Variáveis Lingüísticas		Intervalo Numérico	Conjuntos Fuzzy (valor)
Entrada	Estudo dos Tempos (ET)	[0 160]	(ociosidade produtiva, processo balanceado, gargalo produtivo)
	Desperdícios (D)	[0 10]	(nulo, baixo, médio, elevado)
	Capacidade Produtiva (CP)	[0 10]	(baixa, intermediária, elevado)
Saída	Aumento da Produtividade (AumentProdutiv)	[0 140]	(projeto reprovado, aprovação condicional, aprovado)

Fonte: Desenvolvido pelos especialistas da empresa

Para análise conforme lógica *fuzzy*, foi utilizado o método de Mamdani, das cinco principais ferramentas de Interface Gráfica do Usuário (*Graphic User Interface - GUI*) conforme a Figura 5.11, observado no ambiente da ferramenta do *Fuzzy Logic Toolbox* do Matlab.:

**Figura 5.11:** Variáveis Lingüística de Entrada e Saída

Fonte: Desenvolvido pelos especialistas da empresa (2010)

A modelagem fuzzy da variável "estudo dos tempos" está representada na Figura 5.12, essa variável ilustra a *fuzzificação*, utilizando três trapezoidais

chamadas de Ociosidade Produtiva (abaixo de 110s), Processo Balanceado (110s a 120s) e Gargalo Produtivo (acima de 120s).

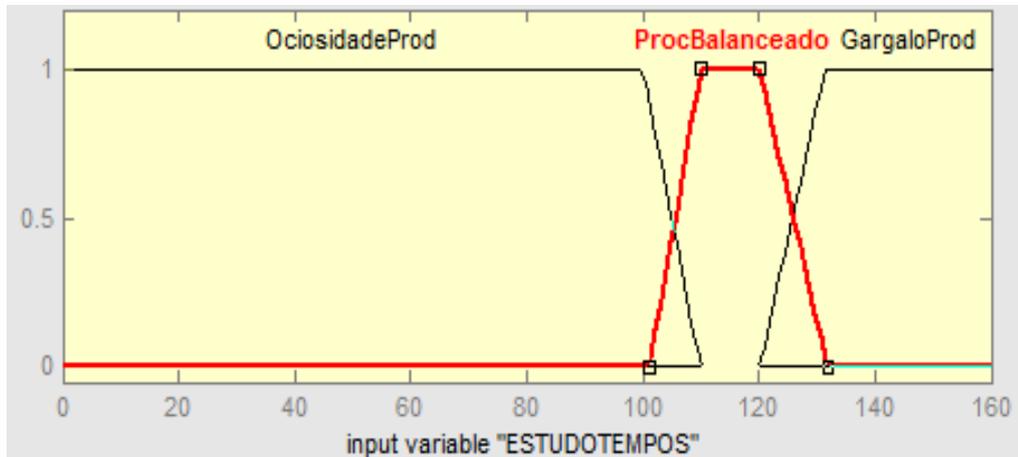


Figura 5.12: Variável Estudo de Caso
Fonte: Desenvolvido pelos especialistas da empresa (2010)

Segundo o estudo foi avaliada a variável: capacidade produtiva da linha. Conforme a figura 5.13 ilustra a *fuzzição* desta variável de entrada, sendo utilizados dois triângulos denominados de Baixa (menor que 4 pontos, ou seja, menor que 30 aparelhos/hora) e Máxima (acima de 6 pontos ou 30 aparelhos/hora) e um trapezoidal denominado Intermediária (4 a 6 pontos ou 30 aparelhos/hora = meta horária).

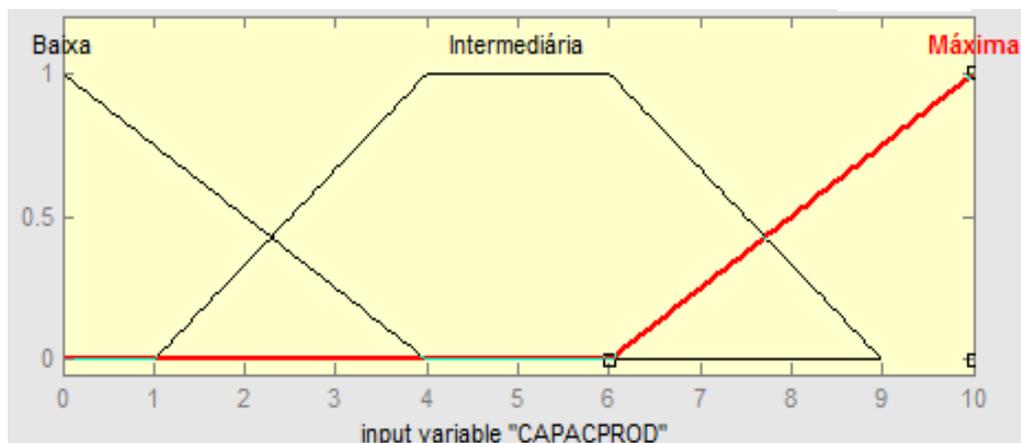


Figura 5.13: Variável Capacidade Produtiva da Linha
Fonte: Desenvolvido pelos especialistas da empresa (2010)

Para análise da terceira variável, desperdícios por defeitos, foram definidos os seguintes parâmetros conforme modelagem *fuzzy* (Figura 5.14):

- Baixo quando ocorre de 1 a 4 defeitos;
- Médio de 5 a 7 defeitos e
- Elevado quando ocorre acima de 7 defeitos por dia.

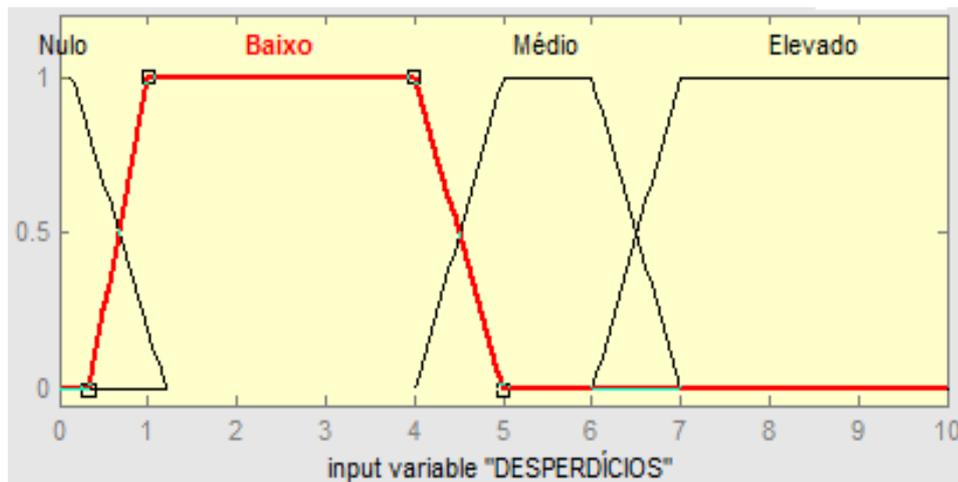


Figura 5.14: Variável Desperdícios

Fonte: Desenvolvido pelos especialistas da empresa (2010)

A figura 5.15 ilustra a *fuzzificação* da variável de saída: Produtividade, sendo utilizados três trapezoidais denominados:

- Projeto Reprovado: quando a produtividade atingir até 116%;
- Aprovação Condicional: quando a produtividade atingir 117% a 119% e
- Aprovado quando for superior a 120%.

Esse indicador é monitorado através da quantidade de horas necessárias por quantidade de horas aplicadas. É avaliado a partir do cálculo da equação 5.1:

$$P = \frac{HN}{HA} \quad (5.1)$$

Onde:

P = Produtividade

HA = Horas Aplicadas de mão de obra direta

HN = Horas Necessárias do tempo padrão

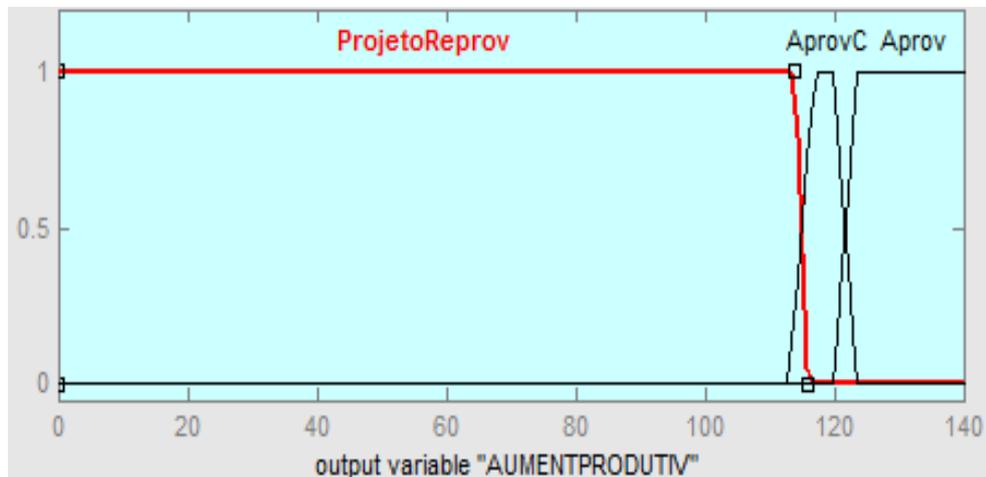


Figura 5.15: Variável de Saída: Produtividade

Fonte: Desenvolvido pelos especialistas da empresa (2010)

A seguir a demonstração da principal base de regras das variáveis lingüísticas, aplicadas na solução *fuzzy* para aprovação de projetos concernente ao Aumento da Produtividade: Estudo Tempos (ET), Capacidade Produtiva (CP) e Desperdícios (D).

- 1. Se (ET é Ociosidade) e (CP é Baixa) e (D é Médio) então (AumentProdutiv é ProjetoReprovado)
- 2. Se (ET é Gargalo) e (CP é Baixa) e (D é Médio) então (AumentProdutiv é ProjetoReprovado)
- 3. Se (ET é Ociosidade) e (CP é Média) e (D é Médio) então (AumentProdutiv é AprovaçãoCond)
- 4. Se (ET é Ociosidade) e (CP é Média) e (D é Baixo) então (AumentProdutiv é AprovaçãoCond)
- 5. Se (ET é Balanceado) e (CP é Média) e (D é Baixo) então (AumentProdutiv é AprovaçãoCond)
- 6. Se (ET é Ociosidade) e (CP é Alta) e (D é Médio) então (AumentProdutiv é AprovaçãoCond)
- 7. Se (ET é Balanceado) e (CP é Alta) e (D é Nulo) então (AumentProdutiv é Aprovado)
- 8. Se (ET é Balanceado) e (CP é Média) e (D é Elevado) então (AumentProdutiv é ProjetoReprovado)
- 9. Se (ET é Balanceado) e (CP é Alta) e (D é Elevado) então (AumentProdutiv é ProjetoReprovado)
- 10. Se (ET é Balanceado) e (CP é Baixa) e (D é Baixo) então (AumentProdutiv é ProjetoReprovado)

5.1.6 Análise dos Resultados

Esse estudo mostrou um resultado satisfatório de ganho de produtividade, ao longo das etapas de implementação da metodologia seis sigma. Em março de 2010 os especialistas começaram a coleta de dados: cronometragem da linha e análise dos tempos. Nesse mesmo mês realizaram um evento chamado de *Kaizen Day* (o dia da melhoria contínua), aonde cada operador teve três horas para identificar uma melhoria no seu posto de trabalho. E o resultado foi esplêndido, pois todos participaram e assumiram compromisso de melhorar a produtividade do produto: LCD 40" até agosto de 2010.

Após essa prática de melhoria continua (*kaizen*), iniciou-se a coleta de dados através do estudo de tempos e movimento (balanceamento de processo) e elaboração de um plano de ação (5W1H), a produtividade da linha LCD03 teve um crescimento satisfatório em percentuais, conforme a figura 5.16

Meses	Dias Úteis	Demanda	Tempo Padrão	Pessoas	Pessoas Real	Horas Necessárias	Horas Aplicadas	Produtividade
Abril	20	2750	0,85	15	13	2337,5	2080	112%
Mai	21	3150	0,85	16	13	2677,5	2184	123%
Junho	21	3200	0,85	16	13	2720	2184	125%
Julho	21	2970	0,85	15	12	2524,5	2016	125%
Agosto	20	2900	0,85	15	12	2465	1920	128%

Figura 5.16: Evolução da Produtividade da Linha LCD03
Fonte: Desenvolvido pelos especialistas da empresa (2010)

Essa evolução deve-se principalmente as otimizações realizadas ao longo da linha de montagem, nas fases: montagem manual, *aging*, testes e embalagem. No qual essas otimizações (eliminação de movimentos desnecessários, etc.) resultaram na redução de uma mão de obra direta ao longo da implantação deste projeto. E, em relação a quantidade de pessoas solicitadas com base no tempo padrão, houve uma redução em média de três pessoas. E como todo gestor busca fazer mais com menos e uma das formas de aumentar o índice da produtividade é reduzindo os *outputs*, esse fator contribuiu para a evolução da produtividade no objeto de estudo.

Com a verificação da estabilidade do processo e alcance da meta solicitada pela alta direção da empresa foram estabelecidos os itens de controle do processo, utilizando a ferramenta FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) – Análise do Tipo e Efeito da Falha, conforme a figura 5.17.

ITEM	Fator	Modo de Falha	Efeitos de Falha	SEVERIDADE	Causas (MODEO DE FALHA)	OCORRÊNCIA	Controles Atuais	DETECCAO	N P R	Ações	Resp	PreSE	PreOCO	PreDET	PreNPR
											Data	DEPART	PosSE	PosOCO	PosDET
1	Alimentação de Material	atraso na alimnetação de materias	Baixa Produtividade	4	Divercidade e grande qty de material no processo ocasionando o desconrole do material.	3	Sistema de alimentação por kit - Kawamuki (Adukargo / SBR)	2	24						
2	Troca de modelo	atraso na alimnetação de materias na troca de modelo	Baixa Produtividade	4	Espera da finalização do modelo corrente para alimentação do proximo modelo.	4	Sistema de alimentação por kit - Kawamuki (Adukargo / SBR)	3	48	FATOR VITAL (X)					
3	Definição de operação (GM/SST)	utilização de horas real maior do que o teórico	Baixa Produtividade	4	Definição de pessoas menor que o necessario (Real)	2	Controle de tempo padrão SST fornecido mensalmente pela engenharia.	2	16						
4	Lay-out do processo	Mal aproveitamento de espaço no processo , anti fluxo	Baixa Produtividade	4	1.Movimentos desnecessário; 2.Deslocamento 3.Anti fluxo de montagem	2	Adequação do lay out do processo conforme introdução do modelo fase OL.	2	16						
5	Ergonomia nos posto	Fadiga	Perda de Eficiencia no processo	4	Posto de montagem inadequado ocasionado canção e afastamento medico.	2	Confecção de novas estruturas de bancadas otimizadas para necessidade de cada modelos.	2	16						
6	Balaceamento da linha (atividades)	Posto desbalanceados	Baixa Produtividade	4	1-Falha na divisvisão de tarefas 2.Redução ou aumento do plano de produção sem alterar a qty de colaborador. 3.Colaborador com mas ou menos Agilidade que outros.	2	Divisão por tempo de TS e cronometragem do tempo de operação na fase OL.	4	32	FATOR VITAL (X)					
7	Motivação da equipe	Equipe desmotivada	Baixa Produtividade	4	Falta de integração da equipe	2	Reunião com a equipe focando na meta a ser alcançada.	1	8						

Figura 5.17: FMEA

Fonte: Desenvolvido pelos especialistas da empresa (2010)

Conforme utilização da ferramenta: FMEA, os itens de troca de modelo na linha e balanceamento das atividades foram considerados fatores vitais, ou seja, são essenciais para alcance da meta de produtividade. Por isso para troca de modelo foi elaborado um sistema de *kanban* eletrônico para facilitar a solicitação de materiais dentro do horário necessário e para o balanceamento de processo foi elaborado um

controle eletrônico de acompanhamento da produtividade na linha, com isso, conforme aconteça alguma anomalia a equipe de engenharia de processo é acionada para realizar estudo de tempos e movimentos.

Após a aprovação do FMEA pelo *Champion*, o mesmo convalidou o projeto estatisticamente utilizando um *software* desenvolvido na empresa para validação de projetos *six sigma*, conforme a figura 5.18.

Before	after	[Applicable data]	
5.154,82	18.823,10	X1 data range	[Pasta1]familia S'1D6:D8
0,990	0,833	X2 data range	[Pasta1]familia S'1C6:C8
1,01	1,2		

@ Results of test of differences between population rates
 Condition: Left
 Formula: Not paired data

	after	Before	Diff (X1-X2)
No. of items	18823	5155	13668
Rate	0,8333333333	0,99009901	-0,156765677
Statistic	-29,37094493		
1% point	-2,33		
5% point	-1,64		
P value	6,4551E-190		
Decision mark	***		

Figura 5.18: Resultado - dados estatísticos computados pelo *Champion*
Fonte: Empresa (2010)

Outro resultado satisfatório para a organização foi a modelagem em *fuzzy*, com a criação de um visualizador de Regras (figura 5.19) possibilitando interpretação completa de acordo com as funções propostas, que influencia o resultado global de cada regra e o resultado do sistema neste estudo.

A modelagem deste sistema fora desenvolvida com base em análises realizadas por especialistas do processo produtivo, onde se definiu as variáveis de entrada e saída com seus respectivos conjuntos *fuzzy* (valores lingüísticos). O qual obteve validação através da metodologia aplicada, com objetivo de convalidar o sistema proposto.

A análise final testou os parâmetros onde alcançasse resultado satisfatório (entre 117 e 120), isto é, aprovação do Aumento da Produtividade com porcentual mínimo de 17% (aprovação condicional) e 20% (projeto aprovado) - conforme estipulado na meta organizacional.

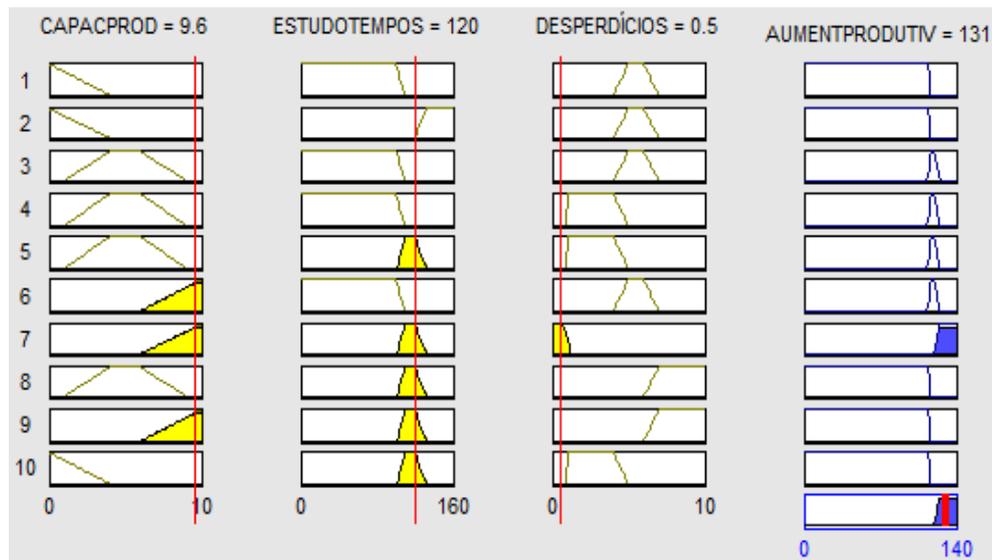


Figura 5.19: Visualizador de Regras em Lógica *Fuzzy*
Fonte: autor (2010)

Desta forma, a Figura 5.19 demonstra que a implementação do modelo proposto permitiu simular o aumento da produtividade para o escore quantitativo igual a 131, logo, dentro do intervalo (120 – 140), identificando o projeto com resultado “Aprovado” e demonstrando um aumento em relação à produção anterior, no qual era 101.

CAPÍTULO VI

6.1 CONCLUSÕES

Esta dissertação teve por objetivo principal o desenvolvimento um projeto seis sigma visando aumento da produtividade e propondo uma modelagem computacional para este processo. Em adição, teve por objetivos secundários descrever o passo a passo da aplicação da metodologia *six sigma* no processo de fabricação de LCD, medir, em termos técnicos, a produtividade antes e depois do processo de montagem de LCD's no uso da metodologia seis sigma e propor uma base de regras para investigação das possíveis causas que ameaçam a produtividade deste processo.

Os dados foram coletados através das observações no processo produtivo, informações analisadas através dos documentos internos da empresa, gráficos de acompanhamento da produtividade e teste estatístico na linha LCD03.

6.1.1 Quanto à metodologia *Six Sigma*: Eliminação dos Desperdícios

As pessoas que participaram do projeto demonstraram uma boa percepção em relação à importância de se reduzir e/ou eliminar os desperdícios existentes no processo.

Os conceitos de eliminação dos desperdícios foram apresentados a todos os envolvidos neste objeto de estudo na reunião de *brainstorming*, com isso todos os participantes procuraram contribuir para identificar algum desperdício.

Os desperdícios por movimentos desnecessários e por excesso de material, foram divulgados aos colaboradores da linha na atividade denominada de *kaizen day*, ou seja, o dia da melhoria contínua. Nessa atividade durante quatro horas de trabalho cada operador deveria identificar quatro desperdícios em seu posto de trabalho e melhorar-lo efetivamente. Após essa prática, todos os colaboradores tinham cinco minutos para apresentar as melhorias de seu posto de trabalho aos colegas e aos convidados (gerentes e coordenadores de outras áreas).

Com essa atividade pode-se concluir que esses dois desperdícios foram bem absorvidos pelos colaboradores da linha de montagem, a ponto de serem eliminados por completo. Também, pode-se perceber que os colaboradores entenderam que a eliminação desses desperdícios contribui para o aumento da produtividade.

Os desperdícios de processamento em si, de espera e de superprodução foram reduzidos com o uso intensivo de estudos de tempos e movimentos ao longo das etapas da aplicação da metodologia *six sigma*.

6.1.1 Quanto à metodologia *Six Sigma*: Melhoria Contínua

As pessoas demonstraram perceber a importância de praticar a melhoria contínua. Os colaboradores, preocupados em aumentar a produtividade da linha, eram estimulados a sugerir idéias novas para melhoria de suas próprias atividades e de seus colegas de trabalho. Percebeu-se que a cada melhoria implementada aumentava a auto-estima das pessoas envolvidas.

6.1.2 Quanto à metodologia *Six Sigma*: Passo a Passo da aplicação do projeto

Verificou-se que cada etapa do projeto seis sigma foi de suma importância para o alcance da meta estipulada pelo *Champion*. Na primeira etapa, coleta de dados e conhecimento técnico do processo produtivo, pode-se concluir que foi a fase mais complicada, pois houve muitas resistências por parte da supervisão e alguns operadores desse processo. Por isso, na segunda etapa, reunião de *brainstorming*, foi criado o dia do *kaizen day*, para que todos os operadores e supervisor de linha pudessem contribuir e sentir-se importante no alcance da meta. Com essa atividade os colaboradores passaram a perceber que o trabalho em equipe é crucial para o aumento da produtividade. Constatou-se também que, de fato, o uso do diagrama de *Ishikawa* estimula as pessoas a colaborarem com suas idéias nas soluções dos problemas da equipe.

A partir desse momento o *Green Belt* do projeto em conjunto com os especialistas definiu o plano de ação para aplicação das melhorias identificadas na

reunião de *brainstorming* e conseqüentemente no diagrama de *Ishikawa*. Essa etapa foi a mais demorada e a mais prazerosa, pois, de fato foram realizadas mudanças que impactaram no resultado deste estudo, como: estudo dos tempos e movimentos, melhoria contínua em busca de eliminar os desperdícios, treinamento para os colaboradores quanto às técnicas de produção enxuta, etc.

Pode-se constatar que as técnicas podem alterar o comportamento das pessoas (SHONBERGER,1984).

Percebeu-se também, que as medições são necessárias em qualquer projeto, e, embora a metodologia seis sigma já proponha a medição do resultado do projeto, pode-se perceber que o *Black Belt* teve dificuldades para avaliar. Por isso, foi necessário contactar o *Champion* para realizar os testes estatísticos deste projeto.

Concluiu-se que com mais de 99% de certeza houve aumento de produtividade na linha LCD03, objeto de estudo dessa dissertação.

6.1.3 Quanto à modelagem em Lógica *Fuzzy*

Também conhecida por lógica difusa, a lógica *fuzzy* destaca-se como uma técnica valiosa, pela manipulação de dados incompletos e qualitativos em seus processos de modelagem. Outra funcionalidade da lógica *fuzzy* é a possibilidade de modelar complexos relacionamentos de causa e efeito através do conhecimento dos especialistas e utilização de termos lingüísticos.

Nesse contexto, a lógica *fuzzy*, configura-se com uma abordagem possível para tal propósito, por justamente tratar de situações descritas anteriormente.

As regras de inferência *fuzzy* e a definição das funções de pertinências foram baseadas na visão dos especialistas do produto e processo.

Pode-se verificar que a aplicação da simulação computacional, através da lógica *fuzzy*, mostrou-se eficiente, pois proporcionou o desenvolvimento de um sistema de mensuração de aumento de produtividade orientado para o pensamento enxuto, no qual definiu uma base de regras que facilita na tomada de decisão e que agiliza a investigação das causas em possíveis oscilações da produtividade.

6.2 RECOMENDAÇÕES

Devido principalmente às limitações de tempo para execução desta dissertação, a mesma apresenta lacunas que poderão ser preenchidas na continuação de novas pesquisas que poderão contribuir para o enriquecimento do conhecimento acadêmico, assim como para o mundo empresarial, sobretudo para a empresa na qual foi realizado este estudo de caso.

Por exemplo, estudos que pudessem responder as seguintes questões:

- (1) Qual a influência da execução de projeto *six sigma* para produtividade e qualidade dos produtos da empresa?
- (2) Qual a influência da metodologia *six sigma* como estratégia organizacional para aumento do *market share* da empresa?
- (3) Como a aplicação de técnicas de *lean manufacturing* pode contribuir para o crescimento econômico da empresa?

Pois empresas economicamente fortalecidas contribuem para o fortalecimento de uma nação, visto que, uma nação economicamente fortalecida torna-se competitiva, respeitada e atrai grandes investimentos.

Recomenda-se também, para futuros trabalhos a aplicação de tecnologia avançada como: simuladores de processos industriais utilizando o sistema *fuzzy* para projeções de produtividade com objetivo de prognosticar resultados, proporcionando suporte a tomada de decisão quanto as ações necessárias para alcançar metas e objetivos de produtividades previstas dentro das empresas.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, S. ***Integração das ferramentas da qualidade ao PDCA e ao programa seis sigma***. Minas Gerais/Nova Lima: INDG, 2006.
- ADAMS, Cary W. et al. ***Six Sigma deployment***. Betterworth Heinemann, 2003.
- ANDRADE, Maria Margarida de. ***Introdução à metodologia do trabalho científico: elaboração de trabalhos na graduação***. 5 ed. São Paulo: Atlas, 2001.
- BALLOU, Ronald H. ***Gerenciamento da cadeia de suprimentos: planejamento, organização e logística empresarial***. Tradução Elias Pereira. 4 ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.
- BARNES, R.M. ***Estudos de Movimentos e Tempos***. 6ª Ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1999.
- BARROS, L. C.; BASSANEZI, R. C. ***Tópicos de Lógica Fuzzy e biomatemática***. Campinas: Comissão de Publicações IMECC/UNICAMP, 2006. Coleção IMECC. Textos didáticos, v. 5.
- BASU, Ron; WRIGHT, Nevan. ***Quality beyond Six Sigma***. Elsevier Butterworth, Heinemann, 2003.
- BAUCH, C.L. ***Lean Product Development: making waste transparent***. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, 2004.
- BEAUCHAMP, Chantal. ***Revolução Industrial e crescimento econômico no século XIX***. Lisboa, edições 70, 1998.
- BERGER, A. ***Continuos Improvement and Kaizen: standardization and organizational designs***. Integrated Manufacturing Systems, 1997.
- BISGAARD, S.; FREIESLEBEN, J. ***Six Sigma and the Bottom Line***. Quality Process. Sep. 2004.
- BRAZ, M.A. ***Tópicos especiais em controle de qualidade: seis sigma metodologia***. São Caetano do Sul, 2002
- BRYMAN, A. ***Quantity and Quality in Social Research***. London: Routledge, 1992.
- BRULE, James F. ***Fuzzy Systems – A Tutorial***. Pacific Northwest National, 1985.
- CAMPOS, Vicente Falconi. ***Qualidade – Gerenciamento da Rotina: do trabalho do dia-a-dia***. 2ª Ed. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1994.

- CENTER, B.; VERMA, B. **Fuzzy Logic for Biologic and Agricultural Systems**. Artificial Intelligence Review, 1998.
- CERVO, Amado Luiz; BERVIAN, Pedro Alcino. **Metodologia científica**. 5 ed. São Paulo: Prentice hall, 2002.
- CHIZZOTTI, Antonio. **Pesquisa em Ciências Humanas e Sociais**. São Paulo: Editora Cortez, 2001.
- CONNER, G. **Lean Manufacturing for small shop**. Society of Manufacturing Engineers Control. Lodon: Champman & Hall, 2001.
- CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. **Administração da Produção e operações: manufatura e serviços – uma abordagem estratégica**. Ed. Atlas: São Paulo, 2006.
- CORRÊA, Henrique L.; GIANESI, Irineu G.N. **Just in time, MRP II e OPT- Um enfoque estratégico**. Ed. Atlas: São Paulo, 1996.
- CRESWELL, J. W. **Projetos de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto**. Tradução Luciana de Oliveira da Rocha. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2007.
- ECKES, George. **A Revolução Seis Sigma**. Rio de Janeiro: Campus. 2001.
- FERRO, J. **Lean Thinking e Competitividade**. Disponível em URL, <http://www.aesetorial.com.br/automotivo/artigos/2002/nov/19/254.htm>. Acesso em 12 de novembro de 2010.
- FERREIRA, A. L. **Rota de Navegação: desafio sebrae**. Rio de Janeiro: Expertbooks, 2003.
- FELD, W. M. **Lean Manufacturing: tools, techniques and how to use them**. Boca Raton: St. Lucie Press, 2000.
- FITZSIMMONS, J. A.; FITZSIMMONS, M. J. **Administração de serviços: operações, estratégias e tecnologia de informação**. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2000.
- FUZZY LOGIC TOOLBOX USER`S GUIDE - For Use with MATLAB, version 7.8.0, 2009.
- GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 4ª Ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- GINDY, N. N. Z; RATCHEV, T. M. e CASE, K. **Component grouping for cell formation using resource elements**. International Journal of Production Research, v. 34, 1996.

GUINATO, P. **Produção e Competitividade: Aplicação e Inovações**. Tradução: Adiel Almeida e Fernando Souza. Recife: UFPE, 2000

GODOY, A. S. Refletindo sobre critérios de qualidade da pesquisa qualitativa. *Gestão.Org. Revista Eletrônica de Gestão Organizacional*, UFPE, v. 3, n. 2, p. 80-89, 2005.

HAHN, Gerald J. et al. **The evolution of six sigma. Quality Engineering**. Monticello, v12, n.3, p. 317-326, March 2000.

HAJI, A.; ASSADI, M. **Fuzzy expert systems and challenge of new product pricing. Computers & Industrial Engineering**, v. 56, p. 616-630, 2009.

HARRISON, A.; VAN HOEK, R. **Estratégia e Gerenciamento de Logística**. São Paulo: Futura, 2003.

HARRY, M, J. **Six Sigma: A Breakthrough Strategy for Profitability**. *Quality Progress*. v.31, n 5, May 1998.

HINES, P. e TAYLOR, D. **Guia para Implementação da Manufatura Enxuta – Lean Manufacturing**. Tradução: Edgar Toporcov. São Paulo: IMAM, 2000

KACPRZYK, J. **Multistage fuzzy control**. Chichester, UK: John Wiley Sons, 1997.

KLIR, G. J.; FOLGER, T. A. **Fuzzy Sets: uncertainty, and information**. Prentice-Hall: Englewood Cliffs, N. J., 1988.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Margarida. **Fundamentos da metodologia científica**. 5.ed. São Paulo: Atlas, 2001.

LAVILLE, Chistian; DIONNE, Jean. **A construção do saber: manual de metodologia da pesquisa em ciências humanas**. Porto Alegre: Artmed; Belo Horizonte: EdUFMG, 1999.

LEXICO LEAN. **Glossário Ilustrado para praticantes do pensamento Lean**. São Paulo: Lean Institute, 2003.

LIKER, J.K. **O modelo Toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo**. Porto Alegre: Bookman, 2005.

MATTAR, Neto João Augusto. **Metodologia Científica na Era da Informática**. 2ª Ed. São Paulo: Saraiva, 2006.

MARSHALL JUNIOR, Isnard. (et al.). **Gestão da qualidade**. 9 ed. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2008.

MARTINS, Petrônio G.; LAUGENI, Fernando P. **Administração da Produção**. São Paulo: Saraiva, 2ª Ed. Ver. Editora Saraiva: 2005.

MEREDITH, Jack R. ; SHAFER, Scott M. **Administração da Produção para MBA's**. Tradução Eliane Kanner. Porto Alegre: Bookman, 2002.

MINAYO, Maria Cecília de Souza. **Pesquisa social: teoria, método e criatividade**. Petrópolis, Rio de Janeiro, vozes, 1994.

MONDEN, Y. **Sistema Toyota de Produção**. São Paulo: Instituto de Movimentação e Armazenagem de Materiais - IMAM, 1984.

MONTGOMERY, D. C. **Introduction to Statistical Quality Control**. Third Edition. New York: John Wiley & Sons, 1997.

MOREIRA, Daniel A. **Administração da Produção e Operações**. São Paulo, Pioneira Thomson Learning, 2002.

NOVAES, Antonio Galvão. **Logística e Gerenciamento da cadeia de distribuição: estratégia, operação e avaliação**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004

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

ORTEGA, N. R. S. **Lógica Fuzzy**. In: Massad, E, Menezes, RX, Silveira PSP, Ortega NRS editores. **Métodos Quantitativos em medicina**. São Paulo: Manole, 2004.

PANDE, Peter S.; NEUMAN, Robert P.; CAVANAGH, Roland R. **Estratégia Seis Sigma**. Rio de Janeiro, Qualitymark, 2001.

PARRA FILHO, Domingos; SANTOS, João Almeida. **Metodologia científica**. São Paulo: Futura, 1998.

PARSAYE, K; CHIGNELL, M. **Expert Systems for Experts**. New York: John Wiley & Sons, 1988.

PLOSSL, George W. **Administração da Produção: como as empresas podem aperfeiçoar as operações afim de competirem globalmente**. São Paulo, Makron Books, 1993.

PYZDEK, Thomas. **Uma ferramenta em busca do defeito zero**. HSM Management, São Paulo: HSM do Brasil, n. 38, p. 64-70, 2003.

REZNIK, L. **Fuzzy Controlers**. Oxford: Newnes, 1997.

RICHARDSON, Roberto Jarry. **Pesquisa social: métodos e técnicas**. São Paulo: Atlas, 1999.

RIVERA, A.; MAROVICH, J. **Use of six sigma to optimize cordis Sales administration and order and revenue management process**. In: Proceeding of the 2001 Winter Simulation Conference, Phoenix, Arizona, 2001

ROCHA, Duílio. **Fundamentos Técnicos da Produção**. São Paulo, Makron Books, 1995.

ROTONDARO, R. G. **Seis Sigma: estratégia gerencial para a melhoria de processos, produtos e serviços**. São Paulo: Atlas, 2002.

ROTHER, M. e SHOOK, J. **Aprendendo a enxergar: mapeando o fluxo de valor para agregar e eliminar o desperdício**. São Paulo, Lean Institute Brasil, 2003.

SHARMA, A.e MOODY, P. E. **A máquina perfeita: como vencer na economia produzindo com menos recursos**. Ed. Prentice Hall, 2003.

SEIXAS, F. C. **Manufatura Colaborativa – um novo modelo para uma nova realidade empresarial**. Revista In Tech, nº 59, 2004.

SEVERIANO, FILHO. C. **Produtividade & Manufatura Avançada**. João Pessoa: PPGEF, 1998.

SIMÕES, M. G.; SHAW, I. S. **Controle e modelagem fuzzy**. 2ª Ed. São Paulo: Blucher, 2007.

SLACK, Nigel *et al.* **Administração da Produção**. São Paulo: Atlas, 2002.

STEVENSON, William J. **Administração**. São Paulo: Atlas, 2002.

SHINGO, S. **O Sistema Toyota de Produção do ponto de vista da Engenharia de Produção**. Porto Alegre: Editora Bookman, 2ª edição, 1996.

SUZAKI, Kiyoshi. **Novos Desafios Manufatura: Técnica para melhoria contínua..** São Paulo: IMAM, 1996.

TUBINO, Dalvio F. **Manual de Planejamento e Controle da Produção**. São Paulo, Atlas, 2ª edição, 2007.

TRIVIÑOS, Augusto Nivaldo Silva. **Introdução à Pesquisa em Ciências Sociais: A Pesquisa Qualitativa em Educação**. São Paulo: Atlas, 1987.

VERGARA, Sylvia Constant. **Projetos e Relatórios de Pesquisa em Administração**. São Paulo: Atlas, 2000.

ZADEH, L. A. **Fuzzy Sets**. Information and Control, v. 8, 1995.

ZADEH, L. A. **Probability Mensures and Fuzzy events**. J Math Appl, 1968.

WITTENBERG, G. ***Kaizen: the maney ways of getting better***. Assembly Automation. MCB University Press, v. 14, 1994.

WOMACK, James e JONES, Daniel. ***Lean Thinking: Banish waste and create wealth in your corporation***. Nova Iorque, SimoneShuster, 2003.

WOMACK, James; ROOS, Daniel e JONES, Daniel. ***A máquina que mudou o mundo***. Rio de Janeiro, Campus, 1992.

YIN, R. ***Estudo de Caso – Planejamento e Métodos***. 3ª Ed. Porto Alegre, Bookman, 2005.