

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ARARAQUARA
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

NILSON MOZAS OLIVARES

Avaliação da integração entre a Teoria das Restrições (TOC) e a metodologia Seis Sigma em um processo de produção do segmento eletro metalúrgica

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Engenharia de Produção do Centro Universitário de Araraquara – UNIARA – como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, Área de Concentração: Gestão Estratégica e Operacional da Produção.

Prof. Dr. José Luís Garcia Hermosilla
Orientador

Araraquara, SP – Brasil
2012

FICHA CATALÓGRAFICA

O43a Olivares, Nilson Mozas

Avaliação a integração entre a teoria das restrições (TOC) e a metodologia seis sigma em um processo de produção do segmento eletro metalúrgica /Nilson Mozas Olivares - Araraquara: Centro Universitário de Araraquara, 2012.

122f

Dissertação (Mestrado) - Mestrado Profissional em Engenharia de Produção

Orientador: Prof. Dr. José Luis Garcia Hermosilla

1. Teoria das restrições. 2. Seis sigma. 3. Integração 4. Estudo de caso.
5. Segmento eletro metalúrgica.

CDU 62-1

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

OLIVARES, N. M. **Avaliação da integração entre a teoria das restrições (TOC) e a metodologia seis sigma em um processo de produção do segmento eletro metalúrgica.** 2012. 122f. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção – Centro Universitário de Araraquara, Araraquara-SP.


ATESTADO DE AUTORIA E CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Nilson Mozas Olivares

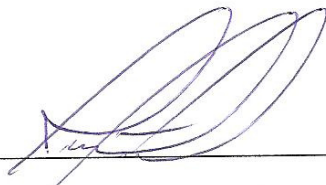
TÍTULO DO TRABALHO: Avaliação da integração entre a teoria das restrições (TOC) e a metodologia seis sigma em um processo de produção do segmento eletro metalúrgica.

TIPO DO TRABALHO/ANO: Dissertação/2012.

Conforme LEI Nº 9.610, DE 19 DE FEVEREIRO DE 1998, o autor declara ser integralmente responsável pelo conteúdo desta dissertação e concede ao Centro Universitário de Araraquara permissão para reproduzi-la, bem como empresta-la ou ainda vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação pode ser reproduzida sem a sua autorização.

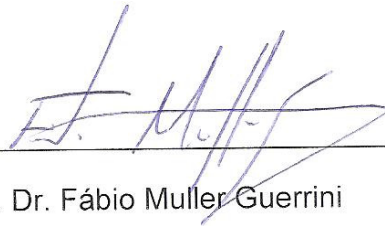

Nilson Mozas Olivares
Rua Padre Duarte, 1295 - Centro
14801-320 – Araraquara - SP
nilsonmozas@yahoo.com.br

Dissertação aprovada em sua versão final pela banca examinadora:



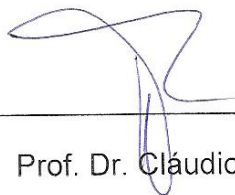
Prof. Dr. José Luis Hermosilla

Orientador – UNIARA



Prof. Dr. Fábio Muller Guerrini

USP – São Carlos



Prof. Dr. Cláudio Luis Piratelli

UNIARA – Araraquara

Araraquara, 19 de outubro 2012

Agradeço à Deus,
Ao meus pais Nelcio (*in memoriam*) e Izuma pelo amor, apoio, confiança e honra.

AGRADECIMENTOS

ÀS FIPA – Faculdades Integradas “Padre Albino”, por colaborarem financeiramente com uma bolsa auxílio de estudos e a todos os seus funcionários, cuja vivência e amizade me honra muito.

Agradeço à direção da empresa, por permitir o meu acesso e coleta de dados para a realização da minha pesquisa e enriquecimento pessoal e profissional.

Os meus mais sinceros agradecimentos ao Prof. Dr. José Luis Garcia Hermosilla, que como orientador, depositou sua confiança em mim, sendo de fundamental importância para a conclusão desta dissertação.

Aos Professores Dr. Fábio Müller Guerrini e Prof. Dr. Claudio Luis Piratelli, por terem contribuído no exame de qualificação, imprescindível para que este trabalho de dissertação fosse concluído.

As funcionárias da secretaria de mestrado Luciana, Silvia e Inavi por estarem sempre dispostas a atender com educação, presteza e competência.

Ao meu amigo Professor e Mestre José Claudinei Cordeiro pela amizade e confiança sempre em mim depositadas.

A minha amiga de mestrado Célia Regina Ricardo de Oliveira Sassi, pelo seu apoio para a realização dessa dissertação.

As funcionárias e amigas da FIPA Cristina, Solange, Izildinha, Marisa, Márcia, Juliana, Heloísa, Débora, Ondina, Karine e Silvana pela colaboração dada no decorrer deste trabalho.

A todos que contribuíram de alguma maneira para a realização desta dissertação.

“Os que conquistam são os que acreditam que
podem conquistar.”

Virgílio

RESUMO

Estudos demonstram que logo após a identificação de uma restrição de processos, o uso da metodologia seis sigma pode contribuir para aprimorar o desempenho do sistema, além de proporcionar economia e elevar as perspectivas de lucros organizacionais. A revisão da literatura vem apontando que através da teoria das restrições (TOC) deve-se fazer a identificação da restrição/gargalo e que ferramentas de qualidade do seis sigma venham medir a sua variabilidade e procurar soluções para o problema. Enfatiza-se, no entanto, que projetos com redução de variabilidade não é garantia de que a restrição será ampliada e que o projeto tenha o sucesso esperado, porém pode ocasionar benefícios secundários em outros setores da empresa. Desta maneira, essa dissertação apresenta como objetivo geral avaliar a integração entre a teoria das restrições e a metodologia do seis sigma em uma linha de produção do segmento eletro metalúrgico. O trabalho é de natureza qualitativa e exploratória quanto aos seus objetivos, buscando entender o processo de integração entre as metodologias, utilizando-se do estudo de caso único como forma de delinear o trabalho de coleta de dados. Seguindo os passos para a integração, tanto a teoria das restrições quanto o seis sigma abordam objetivos diferentes, porém as semelhanças em suas etapas de implementação revelam que de fato pode haver uma complementação entre essas duas ferramentas da engenharia, tornando-as ainda mais eficientes tanto em seus aspectos metodológicos quanto práticos. Assim, pode ser possível para a empresa obter informações mais precisas que ajudarão a gerência a tomar decisões no que diz respeito ao aumento da capacidade de produção, através de todo o seu mapeamento para a identificação do gargalo e verificar se este, sofre algum tipo de variabilidade ou não. Fazendo-se uso da teoria das restrições, o gargalo do sistema foi encontrado e na etapa seguinte, através da metodologia do seis sigma, verificou-se que o gargalo não era ocasionado por uma questão de variabilidade e sim de capacidade. A melhora da sua variabilidade não trouxe avanços significativos para a restrição do sistema, mas notou-se reflexos positivos em processo secundário.

Palavras-chave: *Teoria das restrições, seis sigma, integração, estudo de caso, segmento eletro metalúrgica.*

ABSTRACT

Studies show that soon after the identification of a restriction of processes, the use of six sigma methodology can help to improve the system performance, besides providing the economy and raise the prospects of organizational profits. The literature review has pointed through the theory of constraints (TOC) should make the identification of restriction / neck and which tools of six sigma quality will measure its variability and look for solutions to the problem. It is emphasized, however, that projects with reduced variability is no guarantee that the restriction will be expanded and that the project has the expected success, but can cause secondary benefits in other sectors of the company. Thus, this dissertation presents as general objective to evaluate the integration of the Theory of Constraints and Six Sigma methodology in a production line of electro metallurgical segment. The study is of a qualitative nature and exploratory about their objectives, attempt to understand the process of integration between the methodologies, by using the single case study as a way to delineate the work of data collection. Following the steps for integration, both the theory of constraints as the six sigma approach different goals, but the similarities in their implementation steps reveal that in fact there may be a complementation between these two engineering tools, making them even more efficient both in its methodological and practical aspects. Thus, it may be possible for the company to obtain more precise information that will help the management make decisions regarding the increase of production capacity throughout its mapping to identify the bottleneck and whether it suffers some kind of variability or not. Making use of the theory of the restrictions, the system bottleneck was found and in the following stage, through the six sigma methodology, it was found that the bottleneck was not occasioned by a point of variability but capacity. The improvement of its variability has not brought significant advances to the constraint system, but it was noted positive effects in the secondary process.

Key-words: Theory of constraints, six sigma, integration, case study, electro metallurgical segment.

Lista de figuras

Figura 2.1 - Fluxo de produção.	27
Figura 2.2 – Os Cinco Passos de Melhoria Contínua da TOC.....	28
Figura 2.3 – Fluxo e Distribuição dos Tempos	31
Figura 2.4 – Fluxo linear do produto com um gargalo	34
Figura 3.1 – Ciclo de controle	39
Figura 3.2 – Causas comuns e causas especiais de variação.....	40
Figura 3.3 – Um gráfico de controle típico	41
Figura 3.4 – Entradas e saídas de um processo de produção	41
Figura 3.5 – Controle de Processo.....	42
Figura 3.6 – Distribuição normal centrada no alvo (T).....	44
Figura 3.7 – Distribuição normal com média deslocada de $1,5\sigma$ do alvo.....	44
Figura 3.8 – Curva em forma de sino segmentada	45
Figura 3.9 – Método Seis Sigma para melhorias.....	46
Figura 3.10 – Relação Cp e Cpk.....	49
Figura 3.11 (a) – Índice Cpk = 1.....	49
Figura 3.11 (b) – Índice Cpk = 2	50
Figura 3.12 – <i>Box Plot</i> para um único conjunto de dados	51
Figura 3.13 – Forma da distribuição x Forma do <i>Box Plot</i>	52
Figura 3.14 – <i>Box Plots</i> para comparação de diferentes conjuntos de dados	52
Figura 3.15 – Metodologia DMAIC utilizada nos projetos Seis Sigma	55
Figura 3.16 – O modelo DMAIC de melhoria Seis Sigma	55
Figura 3.17 – Ferramentas e técnicas em empresas que praticam o Seis Sigma.....	57
Figura 4.1 – Representação do modelo integrado	65
Figura 4.2 – Modelo integrado	66
Figura 4.3 – Integrated CI Framework: Combining Six Sigma and TOC	66
Figura 6.1 – Linhas de produtos	76
Figura 6.2 – Mapa das das operações da linha de montagem de mesa oscilante - 50 cm.....	78
Figura 6.3 – Sequência das operações da sala de bobinagem de estatores	83
Figura 6.4 – Valores individuais - Variabilidade dos processos da sala de estatores.....	85
Figura 6.5 – Gráfico Boxplot – Variabilidade dos processos da sala de estatores.....	85
Figura 6.6 – Histograma das normais – Variabilidade dos processos da sala de estatores.....	86
Figura 6.7 – CEP das bobinadeiras - Etapas do estudo.....	87
Figura 6.8 – Gráfico Capabilidade de Processo – bobinadeiras antigas - Etapas do estudo....	87

Figura 6.9 – Valores individuais - Variabilidade dos processos da sala de estatores.....	93
Figura 6.10 – Gráfico Capabilidade de Processo – bobinadeiras novas - Etapas do estudo....	87
Figura 6.11 – Gráfico Boxplot – Variabilidade dos processos da sala de estatores.	94
Figura 6.12 – Histograma das normais – Variabilidade dos processos da sala de estatores....	94
Figura 6.13 – Valores individuais - Variabilidade dos processos.	95
Figura 6.14 – Gráfico Boxplot – Variabilidade dos processos.....	95
Figura 7.1 – Valores individuais - Variabilidade da capacidade real das bobinadeiras	99
Figura 7.2 – Gráfico Boxplot – Variabilidade da capacidade real das bobinadeiras.....	100
Figura 7.3 – Gráfico CEP – Variabilidade da capacidade real das bobinadeiras	101

Lista de Quadros e Tabelas

Quadro 2.1 - Propagação do efeito de eventos incertos.....	32
Quadro 3.1 - Passos do DMAIC.....	56
Quadro 4.1 - Comparação dos programas de melhorias.....	63
Quadro 4.2 – O sistema integrado entre seis sigma e toc.....	67
Quadro 5.1 – Representação da classificação metodológica da pesquisa.....	74
Quadro 6.1 – O Sistema integrado entre seis sigma e toc.....	79
Tabela 6.1 – Montagem de oscilantes – Max Mesa 50 cm.....	80
Gráfico 6.1 Fluxograma - montagem de oscilante – Capacidade de produção (peças/horas)..	82
Tabela 6.2 - Tempo de produção dos cinco processos.....	84
Tabela 6.3 - Chamados de manutenção das bobinadeiras.....	89
Gráfico 6.2 - Chamados de manutenção das bobinadeiras – horas/mês.....	90
Tabela 6.4 - Chamados de manutenção das bobinadeiras – mês de outubro/2011.....	90
Tabela 6.5 - Tempo de produção das inseridoras – mês de outubro/2011.....	91
Tabela 6.6 - Tempo de produção dos cinco processos.....	92
Tabela 6.7 – Chamados de manutenção das bobinadeiras antigas - mês de outubro/2011.....	96
Tabela 6.8 – Chamados de manutenção das bobinadeiras novas - mês de outubro/2011.....	97

Lista de Abreviaturas e Siglas

σ - sigma.

ANOVA – *Analysis of Variance*.

CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.

CEO – *Chief Executive Officer*.

CEP – Controle Estatístico de Processo.

CTQ – *Control Total Quality*.

DBR – *Drum – Buffer – Rope*.

DMAIC – *Define – Measure – Analyse – Improve*.

FMEA – *Failure Mode and Effects Analysis*.

GE – *General Electric*.

JIT – *Just in Time*.

LC – Linha Central.

LIC – Limite Inferior de Controle.

LSC – Limite Superior de Controle.

OPT – *Optimized Production Technology*.

PCP - Planejamento e Controle da Produção

PDCA – *Plan – Do – Check – Act*.

PME's – Pequenas e Micro Empresas.

QFD - *Quality Function Deployment*

TOC – *Theory of Constraints*.

TP – *Thinking Processes*.

TPC – Tambor – Pulmão – Corda.

Sumário

1 Aspectos gerais	144
1.1 Problemática.....	144
1.2 Objetivos	148
1.2.1 Objetivo geral.....	188
1.2.2 Objetivos específicos.....	188
1.3 Justificativa.....	18
1.4 Metodologia.....	20
1.4.1 Bibliografia	20
1.4.2 Abordagem da pesquisa.....	20
1.4.3 Tipo de pesquisa.....	20
1.4.4 Forma de análise dos dados coletados.....	21
1.5 Estrutura do trabalho.....	21
1.5.1 Introdução	21
1.5.2 A teoria das restrições e seus aspectos conceituais	22
1.5.3 A metodologia seis sigma da qualidade	22
1.5.4 A integração entre toc & seis sigma.....	22
1.5.5 Metodologia	22
1.5.6 Descrição da empresa e integração das metodologias: toc & seis sigma	22
1.5.7 Discussão dos resultados	22
1.5.8 Considerações finais.....	22
2 A teoria das restrições e seus aspectos conceituais.....	23
2.1 Restrições e suas definições	24
2.1.1 Identificar a restrição do sistema.....	28
2.1.2 Saber como explorar a restrição do sistema.....	28
2.1.3 Subordinar tudo à decisão acima.....	29
2.1.4 Elevar a restrição deste sistema	29
2.1.5 Uma vez que o passo anterior quebrou a restrição, volte ao passo número 1	29
2.2 Princípios ligados à teoria das restrições.....	30
2.2.1 Balancear o fluxo e não a capacidade.....	30
2.2.2 A utilização de um recurso não gargalo não é determinada por sua disponibilidade, mas por alguma outra restrição do sistema.....	30
2.2.3 A utilização e a ativação de um recurso não são sinônimos.....	30
2.2.4 Uma hora perdida no gargalo é uma hora perdida no sistema inteiro	30
2.2.5 Uma hora ganha em um recurso não gargalo não é nada, é só uma miragem	31
2.2.6 Os gargalos governam o ganho e o inventário.....	31

2.2.7 O lote de transferência pode não ser e, frequentemente, não deveria ser igual ao lote de processamento.....	32
2.2.8 O lote de processamento deve ser variável e não fixo	32
2.2.9 Os programas devem ser estabelecidos, considerando-se todas as restrições simultaneamente e não sequencialmente	32
2.3 Tambor – pulmão – corda (<i>drum – buffer – rope</i>).....	33
2.4 Vantagens e desvantagens da toc.....	35
2.4.1 Vantagens.....	35
2.4.2 Desvantagens	36
3 A metodologia seis sigma da qualidade	37
3.1 Histórico da qualidade.....	37
3.2 Histórico do seis sigma	42
3.3 Uma medida de variação que consegue 3,4 defeitos por milhão de oportunidades .	45
3.4 Capacidade do processo (Cp e Cpk)	47
3.4.1 Interpretação da capacidade de um processo.....	47
3.5 O gráfico <i>Box Plot</i>	50
3.5.1 Interpretações do <i>Box Plot</i>	51
3.6 O método DMAIC	53
3.6.1 Definir.....	53
3.6.2 Medir	54
3.6.3 Analisar.....	54
3.6.4 Melhorar	54
3.6.5 Controlar	54
3.7 Fatores críticos para obter o sucesso na implantação do seis sigma.....	57
4 Fundamentação teórica integrando toc & seis sigma.....	62
4.1 Identificando a restrição	67
4.2 Definir	67
4.3 Medir	67
4.4 Analisar	68
4.5 Explorar a restrição	68
4.6 Subordinar a restrição.....	68
4.7 Verificação dos dados	68
4.8 Melhorar o projeto	69
4.9 Elevar a restrição.....	69
4.10 Controlar e prestar atenção na inércia	70
5 Metodologia.....	71
5.1 A metodologia e suas classificações	71

5.1.1 Abordagem da pesquisa - qualitativa	71
5.1.2 Tipo de pesquisa - exploratória	72
5.2 Coleta dos dados	72
5.3 Estudo de caso único	73
5.4 Forma de análise dos dados coletados	74
6 Descrição da empresa e integração das metodologias: toc & seis sigma.....	76
6.1 O processo de produção	77
6.2 A integração da toc & seis sigma.....	79
6.2.1 Identificar as restrições.....	79
6.2.2 Explorar as restrições	83
6.2.3 Subordinar as restrições.....	91
6.2.4 Elevar as restrições.....	97
6.2.5 Verificar a próxima restrição	98
7 Discussão dos resultados.....	99
7.1 ANOVA – Capacidade de produção/horas.....	101
7.1.1 One-way Anova:	101
7.1.2 Comentário estatístico	102
7.1.3 Comentários que se aplicam ao trabalho	102
8 Considerações finais	103
8.1 Sugestões para trabalhos futuros.....	105
Referências	106
Apêndice A: Média (% h) das 8 bobinadeira paradas/mês	114
Apêndice B: Capacidade das operações (pçs/h) - Bobinagem de estatores.....	116
Apêndice C: Tabela de tempos: Bobinagem de estatores antigos.....	118
Apêndice D: Tabela de tempos: Bobinagem de estatores novos.....	120

1 Aspectos gerais

1.1 Problemática

Relata Provost e Norman (1990), que no começo do século XIX os produtos eram manufaturados de forma simples, e por causa disso, suas variações de processo eram corrigidas sem dificuldades e com sucesso. Porém nos dias atuais, os processos de fabricação e montagem ficaram bem mais complexos, sendo importante ter um maior controle sobre sua variação.

Sendo assim, a melhoria da qualidade dos produtos ou serviços tornou-se um fator fundamental para a permanência e evolução das organizações no mercado, com elevado e crescente nível de exigência por produtos livres de falhas além de preços competitivos. Se entendermos que a falha pode ser a consequência de uma variação além do permitido, ocorrida no processo, o empenho organizacional visto com frequência nas organizações, no sentido de assegurar o cumprimento dos valores predeterminados para os processos, passa a ser vital para se assegure os níveis desejados de qualidade.

Quando a gerência olha a variação, ela consegue ver melhor o desempenho real do processo. É muito comum empresas que ainda medem e descrevem seus projetos e esforços em termos de “médias”, tais como os custos médios, os tempos médios de entrega, a dimensão média de uma peça. Isso pode ser muito perigoso, pois esconde o problema da variação. (ROTONDARO, 2008, p. 77).

Santos (2004) relata em um sentido mais amplo, que a variabilidade abrange, além da variação, a instabilidade e a falta de exatidão (acurácia), que existe nos produtos, pessoas, serviços, processos, natureza etc.

A variabilidade é inerente aos processos, fato que justifica o esforço adicional para seu monitoramento com o intuito de diminuir a amplitude da variação diminuindo também a probabilidade de falhas.

Qualquer processo de produção, independentemente de suas características, contém muitas fontes de variabilidade. Por melhor ajustado que esteja, ele produzirá peças que apresentarão diferenças entre si, podendo ser grandes ou até mesmo muito pequenas. Esta variabilidade natural é o conjunto de efeitos acumulativos que são compostos de causas incontroláveis. É importante que estas variabilidades naturais sejam pequenas até que atinjam um certo nível aceitável, para que não comprometam o desempenho do processo. (COLLIN, 1997, p. 02)

Um agravante para o contexto é a ignorância por parte das organizações em geral, que não costumam avaliar seus processos com base em suas capacidades, ou seja, desconhecem

em grau, os impactos que essas variações conferem ao seu desempenho estratégico (ALMEIDA, 2006).

As organizações, pressionadas pelo mercado mais exigente e pela competição, buscam melhorar sua eficiência operacional, como estratégia organizacional para níveis mais elevados de competitividade e de valor para seus produtos. Uma das alternativas é a adoção de metodologias que buscam o maior envolvimento entre as áreas de manufatura, suporte e comercial (SILVA, 2010). Ainda segundo o autor, uma metodologia que vai ao encontro destas necessidades é o seis sigma, definida como uma estratégia que maximiza a qualidade dos processos, dos produtos e dos serviços, por meio de análises quantitativas e ferramentas estatísticas que ajudam na tomada de decisão.

Seis Sigma é unicamente orientado pelo bom entendimento dos requisitos dos clientes, pelo uso disciplinado de fatos, dados e análises estatísticas, e pela atenção diligente ao gerenciamento, melhoria e reinvenção dos processos de negócios. (TRAD, S. 2009, p. 650):

(...) Seis Sigma não é um simples esforço para aumentar a qualidade; é um processo para aperfeiçoar os processos empresariais. É um programa de melhoria de todo o negócio, que resultará em fortes impactos nos resultados financeiros da companhia, aumentará a satisfação de seus clientes e ampliará a participação no mercado (ROTONDARO, 2008, p. 19).

Seis Sigma é um processo de negócio que permite às organizações incrementar seus lucros por meio da otimização das operações, melhoria da qualidade e eliminação de defeitos, falhas e erros. A meta do Seis Sigma não é alcançar níveis Seis Sigma de qualidade. Seis Sigma está relacionado à melhoria da lucratividade. Organizações que implementam Seis Sigma fazem isso com a meta de melhorar seus lucros. MICKEL HARRY et al, (1998) citado por ROTONDARO (2008, p.18).

Na visão de Almeida (2006), as organizações que fazem uso da metodologia seis sigma estão voltadas à eliminação dos desperdícios, refletindo em última análise na redução dos custos organizacionais. O autor salienta que a metodologia não trata das questões restritivas dos processos, sendo necessário esforço complementar para alcançar objetivos mais amplos e alinhados com essa problemática, fato que pode ser auxiliado com o uso da teoria das restrições como abordagem gerencial para apoio ao planejamento e implementação de projetos Seis Sigma.

Uma grande desvantagem do processo Seis Sigma, para que possa ser completo, é que a maioria dos problemas de qualidade são resolvidos adquirindo-se ferramentas, maquinarias e tecnologia, ou apenas com uma soma significativa de investimentos que pode ser difícil para pequenas empresas. Outra fraqueza do Seis Sigma é que há muitos projetos potenciais de melhoria do programa que reduzem a variabilidade para serem escolhidos e que a escolha do projeto torna-se difícil a fim de que faça

uma significativa mudança, fundamental para a empresa que possui um orçamento limitado. (JIN, 2009, p. 550).

Discute-se até que ponto as metodologias de implementação de projetos Seis Sigma são capazes de medir o impacto que as reduções de variabilidades locais têm no desempenho global da organização e, em última instância, de sua lucratividade. (ALMEIDA, 2006, p.02).

Sendo assim, torna-se essencial estudar a variabilidade do processo de produção exatamente em seu ponto restritivo, pois desta forma é possível potencializar os efeitos das ações tomadas sobre o resultado geral da cadeia produtiva. Segundo Antony e Banuelas (2002, p.20) “muitas organizações que implementam o Seis Sigma consideram benéfico estender a aplicação dos princípios desta metodologia para gerenciar a sua cadeia de suplementos”.

Gargalo é qualquer obstáculo no sistema produtivo que restringe e determina o seu desempenho e a sua capacidade de obter uma maior rentabilidade. Em um processo produtivo, o gargalo é a etapa com menor capacidade produtiva e que impede a empresa em atender plenamente a demanda por seus produtos. Por outro lado, a existência de níveis excessivos de capacidade produtiva em algumas etapas não-gargalos em relação à etapa gargalo, resultam em investimentos ociosos, que influenciam negativamente o desempenho da empresa. Assim, aumentar a capacidade produtiva da etapa gargalo e/ou redimensionar os investimentos ociosos nas etapas não-gargalos, podem constituir decisões estratégicas capazes de promover um maior retorno sobre o investimento. (PESSOA, 2005, p.01).

Goldratt & Cox (1997) citado por Barros (2004, p.102), destacam que os gargalos representam restrições à saída (ou *output*) do sistema de produção. Para Chase, Jacobs e Aquilano (2006) citado por Ferreira (2007, p. 71) “o gargalo é uma restrição dentro do sistema que limita o ganho. É aquele ponto no processo de manufatura em que o fluxo passa a ser diminuído para fluir por um canal mais estreito”.

Segundo Pessoa (2005, p.08), “gerenciar uma empresa sem conhecer o seu gargalo é como dirigir um carro ao acaso, sem noção de direção e destino.”

Assim, decisões equivocadas, que requerem grandes investimentos com relação direta na capacidade produtiva, causam impactos nos resultados financeiros, podendo ser fatais para a sobrevivência da empresa.

Segundo Barros (2004, p. 102) “em determinado sistema produtivo, restrições são todos os processos, máquinas, meios ou até comportamentos que impedem o sistema de atingir o máximo de seu desempenho”.

A teoria das restrições (TOC) fornece uma estrutura apropriada para o gerenciamento e manutenção de ambientes industriais modernos. A TOC enfoca as restrições de capacidade e

recursos em equipamentos e operações que determinam o desempenho de todo o sistema industrial (RIBEIRO; SILVEIRA; QASSIM, 2007, p.405).

As restrições podem ser definidas como: Comportamentais: quando o comportamento está em conflito com a realidade; Gerenciais: políticas gerenciais deficientes que restringem a utilização máxima dos recursos disponíveis; de capacidade: quando uma demanda local em um recurso excede a capacidade disponível; de mercado: quando a demanda de mercado é menor que a capacidade de recursos disponíveis; logísticas: quaisquer problemas decorrentes dos sistemas de planejamento e controle da empresa. (Stein (1997) citado por Barros (2004, p.102).

Para Zaffani (2005, p. 10) “as maiores críticas à Teoria das Restrições referem-se à mínima influência dos funcionários e a não-valorização das análises de dados”.

De forma geral a teoria das restrições trata dos aspectos restritivos dos processos, destacando os fluxos operacionais de produção, enquanto o seis sigmas volta-se para o cliente, tratando dos aspectos concernentes a qualidade como função direta da variabilidade de seus processos.

Segundo Kasemset (2011, p. 327) “desde então, poucas pesquisas destacam a TOC tendo em vista a melhoria de qualidade”.

Para Nave (2002), as duas metodologias se complementam, sendo o papel da teoria das restrições o de identificar a restrição do sistema, enquanto o seis sigma, em uma etapa subsequente trataria de sua variabilidade, possibilitando a maximização dos resultados organizacionais.

Segundo Jin (2009), para as pequenas empresas, o que realmente tem importância é a seleção de projetos, que garantirá melhorias sem risco.

Questions arise when trying to merge both projects together, like when does Six Sigma starts and Constraints management takes a step down, or if subordination should be before Six Sigma or after? Is the constraint is controlled through Six Sigma, should the company be concerned there could be inertia? (JIN, K, 2009. p. 551).

Questões surgem quando tentamos juntar ambos os projetos, quando o Seis Sigma inicia e o gerenciamento das restrições dá o próximo passo, ou se a subordinação deveria ser antes ou depois do Seis Sigma? Uma vez que a restrição é controlada através do Seis Sigma, a empresa deveria se preocupar com a inércia? (JIN, K, 2009. p. 551).

Na visão de Jin (2009), um projeto de redução de variabilidade nem sempre ampliará a restrição, concorrendo para o aumento dos resultados globais da empresa, e mesmo ambas as metodologias podendo produzir benefícios secundários, não há garantias de que o referido projeto será bem sucedido.

Com o propósito de estudar o efeito da integração da teoria das restrições com o seis sigma na questão da variabilidade do processo, a pesquisa se voltará para a seguinte questão: “Como pode ser feita a integração entre a teoria das restrições e seis sigma em uma fábrica do segmento eletro metalúrgica? Quais resultados organizacionais podem ser auferidos desta integração? Quais as etapas principais desta integração?”

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar a integração entre a teoria das restrições (TOC) e a metodologia seis sigma através da aplicação em um processo de produção do segmento eletro metalúrgica.

1.2.2 Objetivos específicos

Localizar o gargalo através da teoria das restrições, verificando se o mesmo é de fato uma restrição de variabilidade a fim de que na sequência as ferramentas do seis sigma venham medir e analisar suas prováveis causas e procurando viabilizar soluções para o problema, verificando se de fato houve algum tipo de interferência no resultado final de seu processo.

1.3 Justificativa

Jin (2009), relata que a combinação entre as duas metodologias, seis sigma e o gerenciamento das restrições, é para melhorias em pequenas empresas ou programas com orçamento limitados de recursos. O seu modelo estabelece que a restrição é apenas um guia para orientar onde será usado o seis sigma. Uma vez localizada a restrição, a preocupação é a peça ou serviço que passou por ela, garantindo o sucesso até o final de todo o processo. Sendo assim, a melhoria do projeto deve ser após a restrição e suas fases seguintes para que todo o problema seja abordado. A integração do modelo mostra mais vantagens, oferecendo uma melhora na seleção de projetos que possuam orçamentos limitados. O modelo oferecido abrange ambas as metodologias abordando totalmente a empresa, observando os potenciais resultados na seleção de melhorias dos projetos.

O ambiente encontrado em PME's facilita o entendimento de todo o processo da empresa, por apresentar uma estrutura organizacional mais compacta (...). As PME's acreditam não suportarem financeiramente o programa Seis Sigma, entretanto, elas

devem considerar os princípios da metodologia como ferramentas específicas que podem melhorar o desempenho da empresa. (GODEIRO, 2006, p.05)

Antony (2004) citado por Godeiro (2006, p. 4):

O custo inicial para institucionalização do Seis Sigma à cultura da corporação pode ser um investimento significativo. Isso pode desencorajar muitas pequenas e médias empresas a introduzirem, desenvolverem e implementarem essa estratégia. No entanto, muitas PME's tem seus processos funcionando em 2 ou 3 sigma. Portanto a melhoria de apenas 1 sigma já representaria um grande avanço na melhoria de satisfação dos clientes e na redução de custos.

Na opinião de GODEIRO (2006), costuma-se dizer que a metodologia seis sigma não é como um tijolo, com formas já definidas e acabadas, e sim uma espécie de argila, podendo ser moldada, adaptando-se às necessidades da empresa.

Jin (2009) defende a integração dessas duas metodologias; enquanto a teoria das restrições (TOC) analisa o sistema como um todo, e localiza suas restrições, o seis sigma atuará na sequência, com o intuito de melhorar seu desempenho diminuindo sua variabilidade.

Alguns sistemas de planejamento e controle da produção concentram-se nos gargalos de produção – operações, máquinas ou etapas de produção que impedem a produção porque têm menos capacidade do que as etapas a montante ou a jusante. Em operações gargalo, lotes de produtos chegam mais rápido do que podem ser concluídos. Dessa forma, essas operações controlam a capacidade de uma fábrica inteira. (GAITHER, 2005, p. 261)

Na visão da Teoria das Restrições, para a definição de processos candidatos a implementações de Projetos Seis Sigma, deve-se identificar a restrição ao ganho global da organização e não somente a variabilidade que resulta em economia ou redução de desperdício de forma pontual, em uma área ou processo. Sob o ponto de vista da TOC, a redução de variabilidades em processo específico deve resultar não somente em menores desperdícios ou custos a este processo, mas, principalmente, a ganhos organizacionais globais. Neste sentido, o foco do projeto Seis Sigma deve estar nas restrições do sistema ou nos processos com baixa capacidade protetiva (candidatos a restrição) (ALMEIDA 2006, p. 07).

Este modelo irá aumentar com sucesso a produção na restrição tanto quanto reduzir a variabilidade na área(s), que não deve virar uma peça com defeito. Uma vez que a restrição tenha sido estabilizada na nova área, o modelo pode iniciar novamente, começando onde a restrição está localizada, mas mantendo os olhos abertos para a inércia da última restrição (JIN, 2009. p. 553).

Particularmente, a primeira fase, de definição, deve envolver a identificação da restrição do sistema. A aplicação de projetos Seis Sigma à restrição deve possibilitar, desta forma, não somente uma redução de custos locais, mas, fundamentalmente aumentos no ganho global e no lucro organizacional (ALMEIDA, 2006, p. 07).

Almeida (2006) propõe a aplicação da teoria das restrições (TOC) para que as áreas críticas sejam identificadas a fim de que posteriormente possam ser implementados os projetos Seis Sigma, sempre objetivando a melhora do desempenho de todo o sistema.

Na visão de Nave (2002) comumente a interligação entre estas duas metodologias se faz primeiro na identificação do gargalo através da Teoria das Restrições, para que depois seja usadas ferramentas de medição e melhorias de variabilidade da metodologia seis sigmas, com a finalidade de estabilizar e resolver o problema.

1.4 Metodologia

1.4.1 Bibliografia

A primeira etapa da pesquisa teve como base o material bibliográfico científico das bases de dados dentre eles: livros, sites acadêmicos e predominantemente artigos de periódicos, caracterizando a metodologia da pesquisa como sendo bibliográfica, conforme Gil (1999, p. 65) “a pesquisa bibliográfica é desenvolvida a partir de material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos”.

1.4.2 Abordagem da pesquisa

A abordagem da pesquisa é qualitativa em função de uma análise mais detalhada, e que terá como base, dados observacionais a fim de que se possa compreender melhor a integração das filosofias.

Naum citado por Gonçalves (2007, p. 87) afirma que determinadas questões são abordadas de forma mais detalhada pelo pesquisador, se a pesquisa for qualitativa, permitindo maior flexibilidade no que se refere à coleta dos dados e maior estruturação de suas hipóteses.

1.4.3 Tipo de pesquisa

Tem caráter exploratória, pois verificou-se uma carência de material científico na literatura com relação ao tema pesquisado.

Segundo Tognetti (2006) a pesquisa científica caracteriza-se por ser exploratória por visar conhecer os fatos e fenômenos relacionados ao tema, recuperar as informações disponíveis, sendo feita através de levantamentos bibliográficos, entrevistas com profissionais da área, visitas às empresas, web sites, etc.

Será adotada na pesquisa o estudo de caso único, quando se quer verificar uma teoria bem formulada, principalmente quando se tratar de um caso mais raro e extremo ou até mesmo revelador, tendo o pesquisador a oportunidade de observar e analisar fenômenos ainda não investigados. Essas análises devem ser cuidadosamente verificadas para que não haja conclusões equivocadas (YIN, 2005).

Pode-se dizer que, em termos de coleta de dados, o estudo de caso é o mais completo de todos os delineamentos, pois vale-se tanto de dados de gente quanto de dados de papel. Com efeito, nos estudos de caso os dados podem ser obtidos mediante análise de documentos, entrevistas, depoimentos pessoais, observação espontânea, observação participante e análise de artefatos físicos. (GIL, 2002, p. 141).

Segundo Yin (2005) normalmente, pesquisadores preferem utilizar os estudos de caso para abordarem questões do tipo “como” e “porque”, uma vez que o mesmo não controla os eventos e o seu foco estará em fenômenos atuais inseridos em alguma situação da vida real.

1.4.4 Forma de análise dos dados coletados

Na visão de Bryman (1989), quando se tem uma pesquisa qualitativa, poderá encontrar em sua estrutura, variáveis quantitativas.

Para a presente pesquisa qualitativa, não seria contraditório mencionar que haverá na sua fase exploratória características quantitativas quanto a coleta de dados para análise das variabilidades das operações, porém não será o enfoque principal, servindo apenas como informações operacionais e investigativas na integração das metodologias estudadas.

Na visão de Chizzotti (2005), várias pesquisas qualitativas usam a coleta de dados quantitativos, mais precisamente quando estão na sua fase exploratória ou quando os dados apontam para uma maior relação entre os fenômenos estudados.

1.5 Estrutura do trabalho

1.5.1 Introdução

A primeira seção, já mencionada, refere-se à problemática da pesquisa, e os problemas que podem ser ocasionados pelos gargalos, como ele é tratado na literatura e a importância do tratamento da variabilidade no pós-gargalo através da metodologia Seis Sigma. Descreve também os objetivos gerais e específicos, as justificativas e também a metodologia adotada, além da questão da pesquisa a ser tratada.

1.5.2 A Teoria das Restrições e seus aspectos conceituais

A segunda seção trata-se da revisão bibliográfica da teoria das restrições (TOC), descrevendo seus principais conceitos.

1.5.3 A metodologia Seis Sigma da qualidade

A terceira seção aborda a metodologia Seis Sigma, relatando seus principais conceitos.

1.5.4 A integração entre TOC & Seis Sigma

A quarta seção terá destaque para o tema em estudo, que é a integração das duas metodologias.

1.5.5 Metodologia

A quinta seção descreve a metodologia utilizada no presente estudo, definindo suas estratégias para a coleta e tratamento dos dados, seus métodos e delimitações de pesquisa.

1.5.6 Descrição da empresa e integração das metodologias: TOC & Seis Sigma

A sexta seção trata do estudo de caso, suas características físicas (layout), quantidade de funcionários, a sua área de atuação e o mercado que abrange. Será verificado a integração das duas metodologias observando comportamentos e causas da variabilidade.

1.5.7 Discussão dos Resultados

A sétima seção trata da discussão dos resultados obtidos, demonstrando a análise do caso que foi estudado e as discussões dos resultados obtidos, além de propostas de melhorias.

1.5.8 Considerações finais

A oitava seção aborda recomendações para trabalhos futuros na temática: Integração TOC vs Seis Sigma, além das referências bibliográficas e apêndice.

2 A teoria das restrições e seus aspectos conceituais

A teoria das restrições (*Theory of Constraints – TOC*) é abordada como uma ferramenta de gestão de produção, de logística e de outras áreas. Com o seu surgimento no final dos anos 70 e início dos anos 80, originou-se o desenvolvimento de um software de informação que fornecia programas voltados para uma capacidade de produção finita nos sistemas produtivos. Ainda segundo os autores, o Dr. Eli Goldratt, teve sua parcela de colaboração no desenvolvimento do software OPT (*Optimized Production Technology*), e desenvolveu um novo método de gerenciamento conhecida como Teoria das Restrições (PTAK e SCHRAGENHEIM, 1999 apud SOUZA, 2004).

Reis (2004) relata que com o surgimento da TOC, o físico Goldratt, criou matematicamente o software OPT para seu amigo que tinha uma produção de gaiolas. Porém a TOC se desenvolveu apenas nos anos 80 com a divulgação do livro “A Meta”, que relata os princípios desta teoria.

A teoria das restrições volta-se para o planejamento e controle da produção, principalmente para a restrição, como sendo o recurso responsável por limitar a produtividade de todo o sistema da empresa, também conhecido como recurso com restrição de capacidade (RRC) (COX III; SPENCER, 2002 apud SOUZA et al, 2004).

Para Goldratt & Cox (1992), a teoria das restrições é apoiada na capacidade de que todo empreendimento de base econômica tem por objetivo gerar dinheiro, porém a restrição, presente em qualquer processo produtivo, torna-se um delimitador determinante dessa capacidade.

De acordo com Noreen, Smith e Mackey (1996), a teoria das restrições tem um fundamento que todo o empreendimento que possui fins lucrativos tem ao menos uma restrição, caso contrário sua produção seria infinita.

Marques e Sales Cia (1998), comentam que mesmo recente, a teoria das restrições é dividida em três grupos diferentes, a saber:

- Ferramentas voltadas para soluções gerenciais, conhecidas como *Thinking Processes – TP* ou Processos de Raciocínio da TOC, usados para responder três questões que objetivam a melhoria de resultados: “o que mudar”, “para o que mudar” e “como causar a mudança”.
- Subconjuntos de ferramentas vindas dos Processos de Raciocínio com a finalidade de aperfeiçoar o gerenciamento na comunicação (exemplo: negociando,

viabilizando ideias), mudanças (solução de conflitos), *empowerment* (delegando) e formando equipes (objetivos a serem atingidos).

- Aplicação dos processos de raciocínio da TOC, com soluções inovadoras vindas de área específicas como por exemplo: produção, distribuição, *marketing* e vendas, gerência de projetos e planejamento estratégico.

Para Pegels (2005, p. 303) “O processo da TOC enfatiza a necessidade de maximizar os ganhos, focando sobre a identificação e gerenciamento da restrição à qual é responsável por reduzir os lucros que uma empresa é capaz de alcançar”.

O processo de raciocínio que a TOC propõe é que para cada sintoma que se observa deve ser feito a sua análise de causa e efeito, a fim de que consiga identificar o principal motivo do problema. Uma vez identificada essa restrição, o próximo passo é montar estratégias para melhorar o desempenho do sistema. De acordo com a cultura de cada empresa, é colocado em ação um plano para que se implemente as devidas estratégias com suas respectivas ações (FERREIRA, 2007).

A teoria das restrições está direcionada para o aperfeiçoamento do sistema como um todo. Este sistema é compreendido por vários processos que são interdependentes, assemelhando-se a uma corrente sendo que todos estes elos trabalham numa mesma direção e objetivos comuns. A restrição seria, portanto, o elo mais fraco de todo o sistema (ZAFFANI 2005, p. 10).

Melhorias na maioria dos elos do sistema não melhora a corrente. A melhoria global difere do somatório das melhorias locais. A identificação da(s) restrição(ões) e os outros quatro passos de otimização das restrições físicas capacita a melhoria do sistema (MARQUES e SALES Cia, 1998 p. 39).

2.1 Restrições e suas definições

FERREIRA (2007), define que a restrição pode ser um fator limitante no desempenho do sistema, comparado ao elo mais fraco de uma corrente. Com isso pode-se citar os pressupostos da TOC:

- Toda organização tem uma meta a ser atingida;
- Uma organização vai além da soma de todo o seu conjunto de partes;
- Um conjunto mínimo de variáveis é responsável por limitar a performance de uma organização.

Stein (1997 apud BARROS & MOCCELLIN, 2003), destaca que as restrições são identificadas conforme segue abaixo:

- comportamentais – é quando o comportamento e a realidade estão em conflito.
- gerenciais – políticas deficientes impedem que o sistema atinja o máximo da utilização dos recursos disponíveis.
- de capacidade – ocorre quando existe uma demanda maior que a sua capacidade disponível.
- de mercado – quando existir uma demanda inferior a capacidade de recursos.
- logística – originadas de problemas relacionados à planejamento e controle da empresa.

Marques e Sales Cia (1998) explicam que a TOC está voltada para a restrição, que impede o sistema atuar como um todo, um obstáculo limitante do desempenho do sistema atingir a sua máxima capacidade rumo à sua meta. Há dois tipos de restrição a saber: restrição física, como por exemplo, fornecimento de materiais, capacidade produtiva, logística e ao mercado; restrição política ou não-física, voltada aos gerenciamento, as normas, procedimentos e práticas usuais.

Para Flores (2005), as restrições físicas estão relacionadas a equipamentos ou sistemas, restringindo o fluxo de produção por possuírem capacidade limitada, consequentemente afetando toda a empresa.

Além das restrições físicas, podemos ter também o que se chama de restrições políticas, com metodologias e normas gerenciais ultrapassadas, comportamentos incoerentes com a realidade, totalmente voltados para o passado e que reduzem a eficiência da produção, atrapalhando em muito o desenvolvimento e o crescimento da empresa.

A primeira, física, engloba mercado, fornecedor, máquinas, materiais, pedidos, projetos, pessoas, e é denominada de restrição de recurso, e que um gargalo reflete um caso particular de restrição em que existe capacidade insuficiente. Um segundo tipo de restrição, é aquela formada por normas, procedimentos e práticas do passado, denominada de restrição política (GUERREIRO, 1999 p.14 apud FERREIRA, 2007 p.68).

Na visão de Smith (2000, p. 74) “uma restrição política é uma prática ou política relacionada ao gerenciamento de um recurso, não a atual capacidade física do recurso”.

Na visão de Marques e Sales Cia (1998), normalmente, as restrições físicas são mais fáceis de serem detectadas, e recebem o nome de “gargalos” (*bottleneck*) quando assim estão interligadas com a capacidade instalada da fábrica.

Goldratt (1998), descreve o gargalo como sendo um recurso com baixa capacidade que não atende a quantidade suficiente de produção que o mercado demanda.

Segundo, Chase, Jacobs e Aquilano (2006, p. 642) “gargalo é uma restrição dentro do sistema que limita o ganho. É aquele ponto no processo de manufatura em que o fluxo passa a ser diminuído para fluir por um canal mais estreito”.

Caso haja uma limitação no atendimento da demanda, isso significa que o gargalo encontra-se na produção. Se a demanda for totalmente atendida, dizemos que a restrição encontra-se fora da empresa, ou seja, ela estará nos fornecedores ou no próprio mercado.

Contudo, se deve levar em conta que estas restrições sempre existirão onde houver uma linha de produção. O fato é saber explorá-las para que dêem o máximo de retorno na lucratividade da empresa.

Na visão de Ferreira (2007), há a necessidade de conhecer a meta do sistema da empresa e as consequências de qualquer ação que traga mudanças. Ainda segundo o autor, baseada na teoria de que qualquer meta de uma empresa é a maximização dos resultados financeiros, se esta não possuir restrição, a sua lucratividade seria infinita.

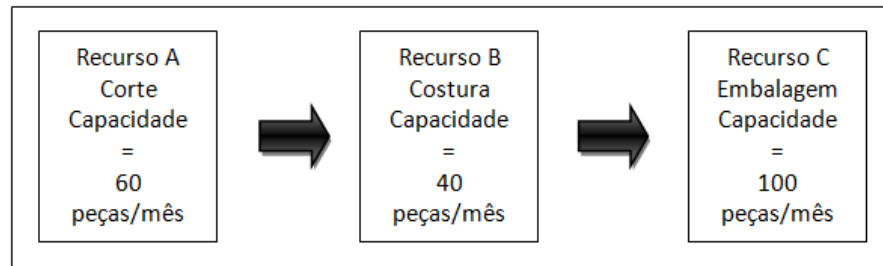
Praticamente o princípio da TOC se resume no aumento da lucratividade (meta da empresa) através de uma gestão adequada da produção, isto é, da restrição, visto que se não tivesse restrições os ganhos seriam infinitos (Reis, 2004 p.588).

A programação da produção pela Teoria das Restrições visa alinhar o ritmo de todo o fluxo de produção com o ritmo de vendas. Para isso, apenas um recurso ou um centro de trabalho é programado. Se a demanda for maior do que a capacidade, alguns pedidos não serão entregues no prazo e o volume de produção do fluxo de produção, como um todo, vai ser determinado pelo recurso de menor capacidade. (Calia, 2005 p. 327).

Marques e Sales Cia (1998) exemplificam supondo um fluxo de produção, conforme a figura 2.1, com apenas três operações (recurso A - corte, recurso B - costura e recurso C - embalagem), admitindo que o mercado consumidor absorva quaisquer quantidades de peças fabricadas, observa-se que a restrição do sistema está no recurso B. Desta forma, caso a empresa opte por produzir uma quantidade acima de 40 peças/mês, haverá o surgimento de estoques intermediários. Porém, se a empresa decidir produzir somente 40 peças/mês, essa quantidade será absorvida pelo mercado e mesmo mantendo uma certa ociosidade nos recursos A e C, não refletirá em aumento de despesas.

Ainda segundo o autor, estas restrições físicas devem ser tratadas com a identificação, exploração, subordinação e elevação do sistema.

Figura 2.1 – Fluxo de produção



Fonte: Marques e Sales Cia (1998).

Goldratt (1990), descreve que nas empresas que ele estudou, encontrava na maioria das vezes mais restrições políticas do que físicas, um verdadeiro gargalo que tivesse de fato uma restrição de capacidade. O que ele encontrava de fato era restrições na sua linha de produção e política de logística.

O que se pode observar com mais frequência, é que atualmente as empresas possuem sua restrição localizada no mercado. É menos comum encontrar empresas que tenham restrições de capacidade, sendo muitas vezes, restrições políticas.

O fundamental é conhecer qual o propósito da empresa, qual a razão da sua existência, onde ela quer chegar. Para isso ser possível, é imprescindível que se tenha respostas pelo menos para três perguntas básicas:

- Há o conhecimento da meta da empresa? Saber onde deve-se chegar?
- Qual a sua verdadeira posição para se chegar a meta desejada? Você sabe realmente onde está?
- O que se deve mudar para atingir a meta desejada? Saber escolher o melhor caminho para que isso possa ser atingido.

Para que se saiba onde deve começar a mudança, é fundamental que se faça uma espécie de diagnóstico do problema, em outras palavras, tentar encontrar qual seria a restrição, a causa raiz, que está provocando a queda de desempenho do sistema como um todo. Esta causa raiz, segundo a TOC, não está evidente aos olhos do gerente de produção, e se mostra através de vários indicadores de desempenho que uma vez mapeados podem contribuir para a sua identificação e eliminação de seus efeitos nocivos ao sistema.

Segue, conforme figura 2.2, os cinco passos que foram elaborados pela TOC para conseguir achar a restrição, através de um sistema de otimização e melhoria continuada para que se atinja a meta da empresa.

1. Identificar a restrição do sistema.
2. Saber como explorar a restrição do sistema.

3. Subordinar tudo à decisão acima.
4. Elevar a restrição deste sistema.
5. Uma vez que o passo anterior quebrou a restrição, volte ao passo número 1, não deixando que a inércia seja responsável pela restrição do sistema.

Figura 2.2 – Os cinco passos do Processo de Melhoria Contínua da TOC



Fonte: Rahman, (2002) apud Souza et al, (2004).

Os três primeiros passos da TOC trabalham para analisar e corrigir o sistema. Os dois próximos passos, passo 4 e passo 5, são passos de melhoria contínua que mantem a capacidade do sistema eficiente. (Kasemset, 2011, p. 327).

Segue a explicação dos passos abaixo:

2.1.1 Identificar a restrição do sistema

A identificação da restrição é feita de várias maneiras, como por exemplo: acumulo de mercadorias, gerando fila e restringindo um determinado processo ou etapa de fabricação. Essa é uma evidência de que seja o elo mais fraco do sistema, no caso uma restrição física, e uma vez localizado, a preocupação é em resolver este problema, focando-o, não gastando esforços para solucionar as falhas de outros setores. No caso do exemplo da figura 2.1 a restrição é a recurso B.

2.1.2 Saber como explorar a restrição do sistema

Uma vez identificado o problema que limita do desempenho, a situação agora é saber explorá-lo, como retirar o máximo de sua capacidade sem maiores onerações ou mudanças

significativas que gerem custos para a empresa. Seguindo o exemplo da figura 2.1 deve-se ter ações do tipo: não permitir que costurem peças com defeito de corte, evitar que o recurso fique parado (falta de peças, hora de almoço).

2.1.3 Subordinar tudo à decisão acima

Neste passo, o objetivo principal é fazer com que o processo limitante, uma vez explorado, trabalhe na sua capacidade máxima, não faltando material para que possa ser produzido. Com isso todos os outros processos estarão trabalhando com a condição de suas velocidades estarem alinhadas com a velocidade deste gargalo. Todos devem estar na mesma velocidade, na mesma cadência de produção. Sendo assim, estes outros processos não-gargalos estarão limitando a sua velocidade de produção em benefício de todo o sistema. Na figura 2.1 os recursos A-corte e C-embalagem devem-se subordinar ao recurso B-costura, ou seja, A e C devem estar operando com suas capacidades igual à da capacidade de B (40 peças/h).

2.1.4 Elevar a restrição deste sistema

Aqui, há a necessidade de se conseguir mais da restrição, buscando alternativas que elevem o aumento da sua capacidade de produção, através de mudanças relevantes, sendo possível somente na forma de investimentos de capital. Sendo assim, todo o sistema elevará a sua capacidade, descobrindo o surgimento de um novo gargalo. No exemplo da figura 2.1, a aquisição de outra máquina ou modificando o seu modo para elevar o nível de atividade.

2.1.5 Uma vez que o passo anterior quebrou a restrição, volte ao passo número 1

Neste passo, uma vez já controlado o gargalo, este mudará de lugar devido a interdependência e variabilidade do sistema. A preocupação existente é no sentido de se não deixar levar pela complacência, sendo fundamental rever e reavaliar novamente todo o sistema na busca desta nova restrição. Para o exemplo da figura 2.1, após implementadas as melhorias e uma vez que as mesmas já não acarretem mais aumento das vendas, significa que a restrição mudou de lugar (máquina, operário ou mercado), devendo reiniciar novamente todo o processo.

2.2 Princípios ligados à Teoria das Restrições

A Teoria das Restrições é sustentada em alguns princípios que se interligam de maneira harmoniosa. Para (GUERREIRO, 1999, p. 37 apud FERREIRA, 2007 p. 64) para que ocorra a otimização da produção, a Teoria das Restrições afirma que a soma dos ótimos locais não corresponde ao ótimo total, estabelecendo princípios ligados à gestão das organizações, conforme segue abaixo:

2.2.1 Balancear o fluxo e não a capacidade

As atenções devem estar voltadas para o fluxo de materiais e não sobre a capacidade instalada de recursos. A realidade é que um gargalo sempre existirá, limitando o fluxo em uma linha de produção, daí a necessidade de se ter um controle sobre este fluxo.

2.2.2 A utilização de um recurso não gargalo não é determinada por sua disponibilidade, mas por alguma outra restrição do sistema

Quando se utiliza um recurso que não seja o gargalo, este é determinado não pelo seu próprio potencial, mas sempre por alguma outra restrição localizada no próprio sistema.

2.2.3 A utilização e a ativação de um recurso não são sinônimos

Ao se utilizar um recurso é o mesmo que direcioná-lo de tal forma que o sistema vá ao encontro de sua meta, ao passo que ativar o recurso é superar a sua utilização, é o mesmo que ligar, apertar um botão de uma máquina para que esta comece a funcionar independente se haverá ou não alguma benfeitoria ocasionada pelo seu trabalho (Goldratt e Cox 2002 apud Ferreira, 2007, p. 64).

2.2.4 Uma hora perdida no gargalo é uma hora perdida no sistema inteiro

Quando se prepara uma máquina gargalo para a produção de alguma peça não solicitada pelo mercado, seja ela defeituosa ou não, isso diminui a capacidade do seu fluxo de produção.

É necessário certificar de que o gargalo está trabalhando apenas com peças boas, retirando as que estão defeituosas. Se houver refugo de uma peça, antes dela chegar ao gargalo, o que se perderá é uma peça refugada. Mas, se a peça for refugada depois que ela passar pelo gargalo, se perderá um tempo que não poderá ser recuperado (Goldratt e Cox 2002 apud Ferreira, 2007, p. 65).

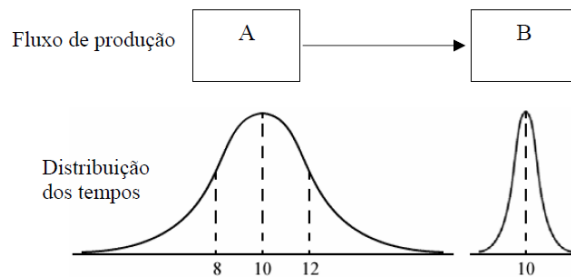
2.2.5 Uma hora ganha em um recurso não gargalo não é nada, é só uma miragem

O sistema todo deve estar voltado em função do gargalo. Logo qualquer tipo de esforço ou melhora no tempo de *set up* de algum recurso que não seja caracterizado como gargalo, servirá apenas para aumentar o tempo ocioso.

2.2.6 Os gargalos governam o ganho e o inventário

Além de determinar o fluxo, os gargalos respondem também pelos níveis de estoques, pois com estes pode-se amenizar as operações das possíveis flutuações estatísticas que são fenômenos que surgem devido a eventos aleatórios e sem controle, uma vez que estas operações de manufatura são interligadas e interdependentes, só sendo possível executar uma operação quando a anterior for terminada, ilustrativamente isto é mostrado na figura 2.3 abaixo.

Figura 2.3 – Fluxo e distribuição dos tempos.



Fonte: Corrêa e Giansesi (1993) apud Ferreira (2007).

Pode-se notar que as flutuações estatísticas existem, e são inerentes à todo o fluxo de produção. A curva normal representa o tempo de produção de dois processos A e B. Ambos os processos possuem a mesma média de processamento (10 min), porém o processo A apresenta flutuações de tempos (8 – 12 min) bem maiores do que o processo seguinte (B).

Segue-se um exemplo no quadro 2.1 logo abaixo com dois fluxos de produção: A e B. Nota-se que apesar do trabalhador A ter o seu tempo total real de trabalho dentro do programado de 40 minutos (40 – 0), houve flutuações estatísticas com desvios de 2, 4 e 2 minutos nas etapas 1, 2 e 3 respectivamente. Estes atrasos do trabalhador A de 2 minutos no item 1 somando-se mais 2 minutos no item 2, refletiu no desempenho do trabalhador B que apesar de ter o seu desempenho padronizado em 10 segundos entre cada etapa, já começou com um atraso de 2 minutos no item 1 (devido ao trabalhador A), somando-se mais 2 minutos

de atraso no item 2, também ocasionado pela etapa anterior, concluindo o seu tempo real de 42 minutos (54 – 12), contra o tempo real de 40 minutos do trabalhador A.

Quadro 2.1 – Propagação do efeito de eventos incertos

Item	A programa	A Real	A Desvio	B programa	B Real	B desvio
1	0 – 10	0 – 12	2	10 – 20	12 – 22	2
2	10 – 20	12 – 24	4	20 – 30	24 – 34	4
3	20 – 30	24 – 32	2	30 – 40	34 – 44	4
4	30 – 40	32 – 40	0	40 – 50	44 – 54	4

Fonte: Corrêa e Giansi (1993) apud Ferreira (2007).

2.2.7 O lote de transferência pode não ser e, frequentemente, não deveria ser igual ao lote de processamento

Fracionando o lote de processamento, obtêm-se o lote de transferência, reduzindo com isso o tempo de fluxo dos produtos, porém, só haverá uma redução do lead time global, caso este conceito de fracionamento seja aplicado em um recurso gargalo. Quando é aplicado o fracionamento de lotes de processamento em recursos não-gargalos, apenas antecipará as peças no pulmão dos gargalos, acumulando-se para serem processadas, não ocorrendo nenhuma redução no lead time do processo global.

2.2.8 O lote de processamento deve ser variável e não fixo

Não se recomenda que o lote de processamento seja igual para todas as operações, mas sim em função da situação e do tipo de cada operação como custos de carregar estoques, preparação, necessidades de fluxos de alguns itens e tipos de recursos gargalos e não gargalos (Corrêa e Corrêa, 2007 apud Ferreira, 2007).

2.2.9 Os programas devem ser estabelecidos, considerando-se todas as restrições simultaneamente e não sequencialmente

Considerando que uma determinada ordem de produção seja prioridade, deve-se ficar menos tempo na fila, aguardando para ser processada. Sendo o tempo de fila um dos fatores

que constituem o lead time, e pelo fato deste sofrer variações, isso é transferido no cumprimento dos prazos. Logo, o problema deve ser tratado de forma simultânea a sua programação das atividades bem como a capacidade dos gargalos, sendo este prioridade.

A TOC tem como principal foco o gerenciamento das restrições. Suas suposições enfatizam a velocidade e o volume, usando os sistemas existentes e a interdependência dos processos. Uma das ferramentas usadas pela TOC para administrar a produção é o tambor-pulmão-corda (TPC). O tambor-pulmão-corda é um sistema de puxar a programação baseado na liberação de material assim que houver um sinal do gargalo. O TPC tradicional modela as ordens de liberações sincronizadas com as taxas de produção do recurso de menor capacidade (Almeida, 2006, p. 04).

2.3 Tambor – Pulmão – Corda (*Drum – Buffer – Rope*)

Para programar uma produção em série, a TOC usa uma abordagem chamada de Tambor – Pulmão – Corda (TPC), ou originalmente *Drum – Buffer – Rope* (DBR).

Para Dias (2007), o tambor, é o ritmo de produção gerado pelo gargalo, sendo que os recursos que o antecedem são puxados a uma velocidade igual ou superiores ao da restrição. Uma vez que estes tambores ditam todo o desempenho econômico da fábrica, não podem faltar mercadorias para que sejam processados, logo devem ser protegidos com estoques que o antecedem, chamados de pulmão, assegurando, com isso, o seu tempo de abastecimento. Finalizando com a corda, que é um elemento da logística da TOC que regula a entrada de material, alimentando o gargalo e os pulmões.

O centro de produção gargalo torna-se o tambor, dando o ritmo para o restante da fábrica. Esse ritmo determina a programação de setores não gargalo, puxando o trabalho, (a corda) de acordo com a capacidade do centro de trabalho gargalo, e não de acordo com a capacidade do próprio centro de trabalho. Nunca deveria ser permitido a um gargalo trabalhar em ritmo menor que sua capacidade máxima; conseqüentemente, estoques de proteção (pulmão) deveriam ser colocados antes do gargalo, de modo a garantir que ele nunca pare por falta de trabalho (Chamber e Johnston, 2002 apud Ferreira, 2007, p. 72).

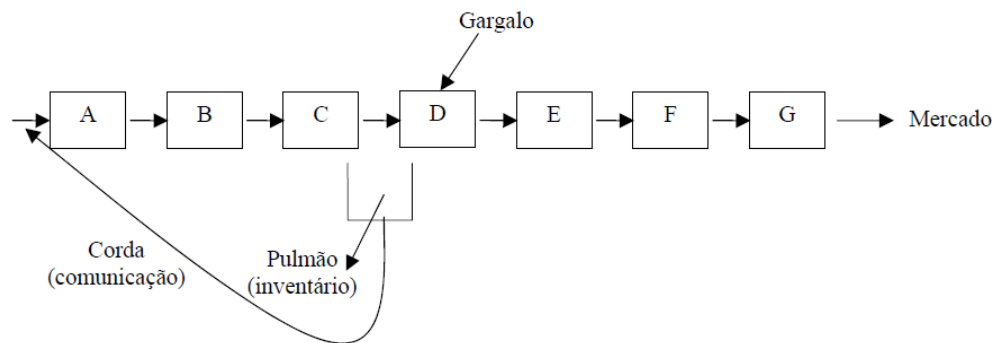
Desta forma, entende-se que é fundamental a existência de um pulmão antes do gargalo, que ditará o ritmo (tambor) da produção. O objetivo é que nunca falte material para que seja processado, gerando com isso uma forma de proteger e melhorar a capacidade de produção da fábrica inteira.

O segundo tipo de pulmão é chamado de Pulmão de Montagem (*Assembly Buffer*). A existência deste novo pulmão é justificada, visando assegurar que todas as peças que passam pelo gargalo sejam realmente montadas. Logo se faz necessário

estabelecer um Pulmão em frente a todas as demais linhas de alimentação das montagens que utilizarão as peças que já passaram pelo gargalo. Um terceiro tipo de pulmão é denominado de Pulmão de Entrega/Mercado (*Shipping Buffer*). Este Pulmão, colocado após o final do fluxo produtivo, antecedendo o mercado, tem por objetivo possibilitar a entrega dos produtos dentro do prazo estabelecido. (Dias 2007, p. 151).

A figura 2.4 mostra as etapas do fluxo de mercadorias de um processo de produção, sendo o D o recurso restritivo (gargalo).

Figura 2.4 – Fluxo linear do produto com um gargalo



Fonte: Chase, Jacobs e Aquilado (2006), apud Ferreira (2007).

Em um sistema de produção contínuo existem as variabilidades naturais, e que são por natureza, impossíveis de serem evitadas, se tornando mais acentuadas ainda quando passa de uma etapa para outra, interligando-as.

Esta variabilidade dos sistemas, aliada à dependência entre cada um deles, faz com que a linha nunca esteja, realmente, perfeitamente balanceada. Apesar de poderem isoladamente ter médias balanceadas, não existe sincronismo entre as variações naturais, ou seja, quando um processo está acima da média, o processo em seguida, não necessariamente, também está. Este fenômeno faz com que, especialmente nestas linhas mais balanceadas, sempre haja gargalos se movendo através da linha de produção (Flores, 2005, p.22).

Pode-se notar que estas variabilidades naturais ocasionam o aparecimento de gargalos na linha de produção, atrapalhando o fluxo entre as etapas seguintes, gerando acúmulos de mercadorias. Torna-se fundamental, criar meios para que estas restrições, muitas vezes difíceis de serem detectadas, sejam identificadas e analisadas as suas principais causas a fim de que possam melhorar a variabilidade na linha de produção e conseqüentemente o seu fluxo de mercadorias.

A teoria das restrições está voltada para identificar os gargalos, e que somente depois seja possível identificar meios para se ter um fluxo de produção contínuo e com menos variabilidade.

2.4 Vantagens e desvantagens da TOC

A TOC em linhas gerais envolve o estudo dos gargalos dos processos com o objetivo de maximizar os resultados financeiros da organização, como já mencionado anteriormente, no entanto assim como essas características apresentam-se como vantagens da metodologia, também há limitações. Plantullo (1994) aborda esse comparativo em seu trabalho, como segue:

2.4.1 Vantagens

Uma rápida projeção ou modificação do planejamento onde:

- no processo de manufatura, existe maximização de saídas (outputs) da produção e a minimização simultânea do estoque de produtos em processo ocorre através de técnicas, tendo como bases interações matemáticas.
- o tamanho dos pequenos lotes são calculados com base na lucratividade e não através do lote econômico de compras e de produção.
- é permitido um controle mais preciso dos recursos a curto prazo.
- levam-se em conta os recursos finitos existentes.
- não há espaço para quaisquer tipos de erros.
- é menos complexo do que o JIT.
- planejamento rápido, modificação extremamente rápida implica necessidade de maior flexibilidade.
- modificações no planejamento devem ser feitas em horas em vez de dias.
- dado que o planejamento seja de forma extremamente rápida, deve ser possível executar diversas simulações.
- permite análise acurada da planta industrial.
- as restrições no processo de produção passam a ser claramente definidas.
- os melhoramentos podem ser feitos facilmente na planta industrial, graças à definição clara das restrições.

- através do processo de simulação, diversos *mixes* (combinações) de produtos podem ser experimentados com implicações para a planta industrial sob o ponto de vista da capacidade das máquinas e financeiro.

2.4.2 Desvantagens

- necessidade de reorganização da planta industrial. Trata-se de uma reorganização conceitual dentro da planta industrial e dentro da empresa, embora seja menor do que a pleiteada pela filosofia JIT.
- modificação do estilo gerencial para a conduta de problemas.
- criação de uma nova cultura.
- movimentações e modificações de equipamentos para que se possa aplicar a teoria mais eficientemente.
- ruptura dos sistemas tradicionais de contabilidade e de custos.
- a eficiência não pode mais ser calculada nesses sistemas.
- deixa-se de emitir as avaliações de desempenho.
- ruptura no conceito dos usuários.
- os usuários dos sistemas devem ser retreinados; novos tipos de relatórios devem ser desenvolvidos para dar suporte ao novo tipo de processamento de dados e dos sistemas de contabilidade devem ser aplicados à nova base de informações.

Com uma metodologia mais abrangente, a teoria das restrições se importa com o que realmente é importante, buscando um menor inventário e protegendo a linha de produção contra possíveis paradas (PLANTULLO, 1994).

A preocupação em gerenciar (monitorar) os gargalos é algo que deve ser levado em consideração por todas as empresas que realmente almejam melhorias na sua produtividade, porém não podemos esquecer que toda produção sobre variações naturais e é fundamental que se tenha um programa que aborde técnicas e ferramentas estatísticas à fim de que possa controlar e gerenciar essas variabilidades gerando condições para que a alta gerência tome as melhores decisões.

3 A metodologia seis sigma da qualidade

3.1 Histórico da qualidade

No seu processo histórico, a evolução da qualidade teve início no século XX, sendo que nas décadas de 20 e 30 os processos padronizados, impulsionaram o aprimoramento das técnicas industriais para o controle da qualidade de seus produtos, com sua inspeção baseada em conformidades evoluindo com o passar do tempo para outras abordagens, principalmente com o surgimento do pensamento estatístico aos processos de produção, por W.A. Shewhart, através de uma definição de perfeição mais técnica sobre qualidade de um produto (SANTOS & MARTINS, 2002). Os mesmos autores ainda relatam que na década de 50 e 60 com o Japão inovando no processo de produção industrial e na sequência os trabalhos de W.E. Deming, J. M. Juran, P. Crosby e K. Ishikawa, serviram de sustentação para o surgimento na década de 80 de um modelo de qualidade total com propostas mais subjetivas para o conceito de qualidade de produto e serviços, através da redução de custos, aperfeiçoamento de processos, mais produtividade e maior competitividade.

Segundo (ECKES, 2001), desde o início, com a migração das atividades agrícolas para o setor industrial no século XX, as empresas têm demonstrado uma preocupação com a qualidade. Com a evolução do produto artesanal, para a escala de produção em massa, essa qualidade que era garantida pela responsabilidade do próprio artesão, passou para especialistas com a finalidade de inspecionar os produtos para que tenham um controle de qualidade adequado às necessidades de seus consumidores. Nota-se que a população está cada vez mais atenta ao quesito qualidade e na sua relação custo/benefício que os produtos proporcionam, porém os conceitos dessa qualidade não surgiram com os anseios do mercado consumidor (SANTOS & MARTINS, 2002).

Vários defensores da qualidade, como W. Edwards Deming, Joseph M. Juran, Armand V. Feigenbaum, tem em comum a característica de que a filosofia da qualidade deve sempre estar apoiada na forma de como ela é gerenciada, nas suas estratégias de implementação de qualidade e suas atividades de melhorias (MONTGOMERY, 2004).

Segundo (WERKEMA, 1995), as empresas já se conscientizaram que a venda de produtos de baixa qualidade, possuindo defeitos de confiabilidade, comprometem a sua competitividade. Sendo assim, a implantação de um programa de melhoria de qualidade para diminuir desperdícios, ocasionando menos inspeção e aumento na satisfação de seus clientes, contribuiriam para o aumento da produtividade e conseqüentemente na sua competitividade.

A autora comenta também que a estatística oferece programas que vão ao encontro da melhoria da qualidade, possuindo técnicas que interpretam a variabilidade, sendo esta a causa da fabricação de produtos com defeitos.

A qualidade e a variabilidade são duas grandezas inversamente proporcionais. A variabilidade é descrita através dos métodos estatísticos que desempenham um papel fundamental nos programas de melhoria da qualidade (MONTGOMERY, 2004).

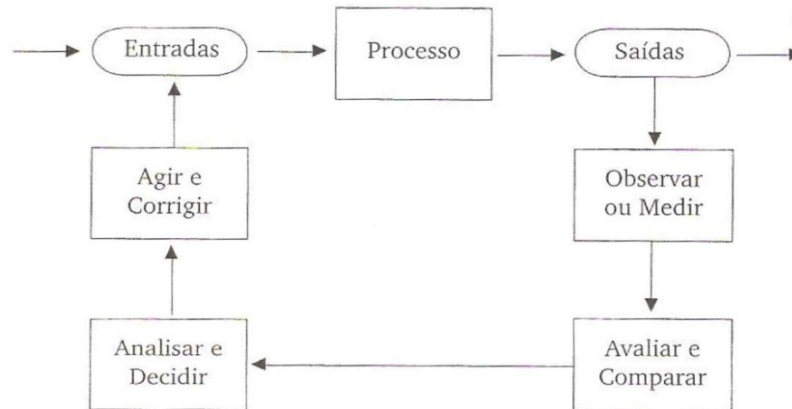
Um estatístico norte-americano chamado W. Edwards Deming que através de vários seminários realizados em suas visitas ao Japão na tentativa de ajudar a reconstruir o país, foi conseguindo que as empresas comesçassem a adotar diversos princípios de administração, com forte influencia nas análises estratégias de variações de processos de produção. Mais tarde em vários países, principalmente nos Estados Unidos, diversas indústrias automobilísticas acolheram suas idéias usando o Controle Estatístico de Processo (ECKES, 2001).

Para (ROTONDARO, 2008), ter controle é o mesmo que manter vigilância sobre alguma coisa a fim de que possa conseguir o tipo de comportamento almejado. Desta maneira, o ciclo de controle de processo constitui-se das seguintes fases:

- Observar ou medir: é o mesmo que medir (mensurar a saída do processo).
- Avaliar e comparar: sua saída é comparada com um padrão já pré-estabelecido.
- Análise e decisão: verificar se existe ou não algum tipo de diferença entre padrão e saída com a adoção de possíveis ações corretivas.
- Ação e correção: qual ação tomar sobre as diferenças encontradas anteriormente.

Ainda para o autor, o importante é que o ciclo se completa sobre a entrada (não na saída), fazendo tomar ações nos fatores de produção ao invés de se adotar ações sobre os produtos (bens e serviços), conforme a figura 3.1 abaixo.

Figura 3.1 – Ciclo de controle.



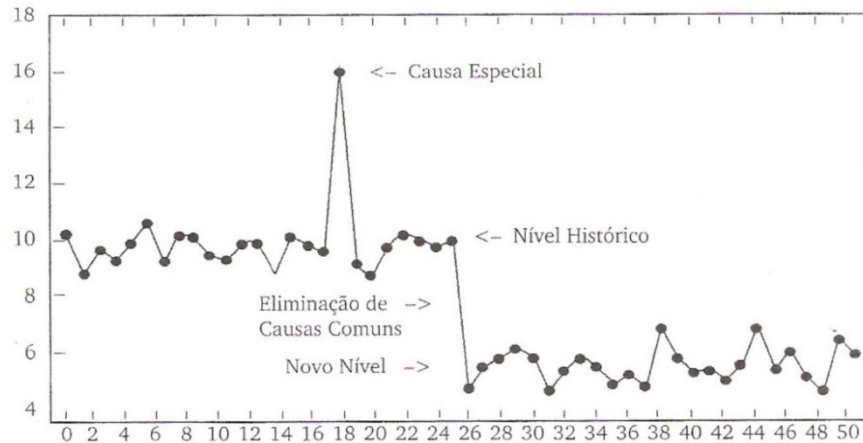
Fonte: Rotondaro (2008).

Para (WERKEMA, 1995), as ferramentas estatísticas servem para contribuir para a diminuição da variabilidade dos produtos, sendo as suas principais causas:

- Causas Comuns ou Aleatórias, ou variabilidade natural do processo; mesmo que o processo seja executado através de métodos padronizados, sempre existirá variabilidade em suas operações. Se apenas causas comuns estão influenciando na variabilidade, esta se caracteriza como estável (faixa característica do processo) verificando que o processo está sob controle estatístico.
- Causas Especiais ou Assinaláveis; surgem ao acaso, ocasionado por uma situação particular em que o processo assuma comportamentos diferentes ocorrendo uma perda na qualidade, fazendo com que o processo esteja fora do controle estatístico com variabilidade acima da natural. Suas causas mais comuns são: novo operador de máquina, equipamentos apresentando defeitos, matéria-prima diferente, não cumprimento dos padrões operacionais, ferramentas desgastadas, instrumentos calibrados de modo incorreto etc.

Todo processo tem a sua variabilidade natural em função das diferenças no que é conhecido como 6 Ms: mão-de-obra (pessoas), materiais, máquinas, medição, métodos e meio ambiente, podendo ser separados em dois grupos: causas comuns e variáveis. Percebe-se na figura 3.2, que os pontos localizados entre 1 a 16 oscilam em torno do valor 10, já no ponto 17, há uma discrepância, devido à alguma causa especial. A partir do ponto 26 há outra mudança, possivelmente de causa comum, com natureza diferente da primeira, passando o processo para um novo nível com média 6 (ROTONDARO, 2008).

Figura 3.2 - Causas comuns e causas especiais de variação.



Fonte: Rotondaro (2008).

Os engenheiros japoneses já sabiam da eficácia dos métodos estatísticos, inclusive para determinar as causas de variação nos processos de manufatura, o grau de correlação entre as condições de manufatura com a qualidade do produto, uso de técnicas de inspeção por amostragem, etc (JURAN, 1993).

Os métodos estatísticos e sua aplicação na melhoria da qualidade têm uma longa história. Em 1924, Walter A. Shewhart, dos Bell Telephone Laboratories, desenvolveu o conceito estatístico de gráfico de controle, que é considerado, em geral, como o começo formal do controle estatístico da qualidade (MONTGOMERY, 2004, p.5).

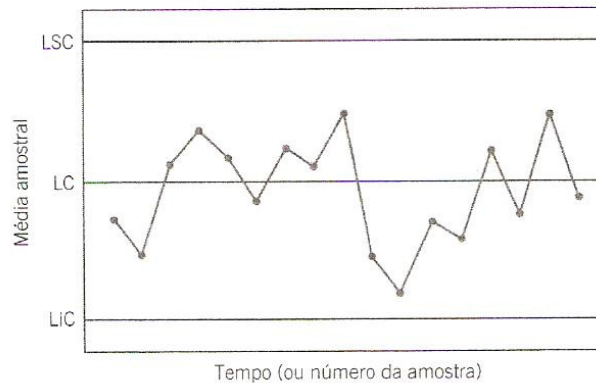
As cartas de controle originadas por WA Shewhart foram baseada em três limites de controle sigma. Se os mesmos gráficos são utilizados para os produtos das empresas que adotam iniciativas Seis Sigma em seus processo, então nenhum ponto deve estar fora dos limites de controle, devido à melhoria da qualidade. Assim, um gráfico de controle separado torna-se necessário para monitorar os resultados das empresas que adotam iniciativas Seis Sigma (RADHAKRISHNAN, 2011, p. 01).

O Controle Estatístico de Processos (CEP) é um conjunto de técnicas estatísticas para monitoramento dos parâmetros do processo. Esse monitoramento tem por finalidade evitar que muitos itens não conformes sejam produzidos. Uma das técnicas é o gráfico de controle proposto por Shewhart (1939) que é amplamente usado no controle de processos (YASSUKAWA, 2006, p. 1).

Um gráfico de controle é uma técnica do controle estatístico de processo ou CEP. Sua característica é ter a média das amostras do processo na linha central (LC) se não houvesse variabilidade e os seus limites superiores e inferiores de controle (LSC e LIC) determinados a partir de medidas estatísticas (MONTGOMERY, 2004).

Os limites de controle LIC e LSC são determinados de forma que, se o processo está sob controle, praticamente todos os pontos traçados no gráfico estarão entre estas linhas, formando uma nuvem aleatória de pontos distribuídos em torno da média, conforme a figura 3.3 (WERKEMA, 1995, p.199).

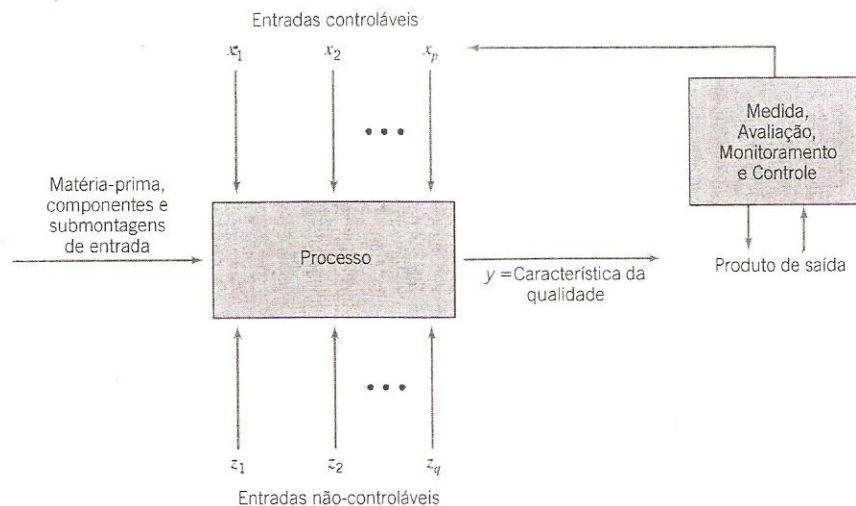
Figura 3.3 - Um gráfico de controle típico.



Fonte: Werkema, (1995).

O CEP pode ser usado para processos de saída ou de entrada de produtos versus o tempo de fabricação. Na figura 3.4 abaixo segue um exemplo de um processo de fabricação, sendo x_1, x_2, \dots, x_p fatores controláveis como pressão, temperatura etc e z_1, z_2, \dots, z_q não controláveis, ou difíceis de serem controlados, como fatores ambientais, matérias-primas. O processo irá transformar as entradas em produtos acabados com certas características de qualidade.

Figura 3.4 - Entradas e saídas de um processo de produção



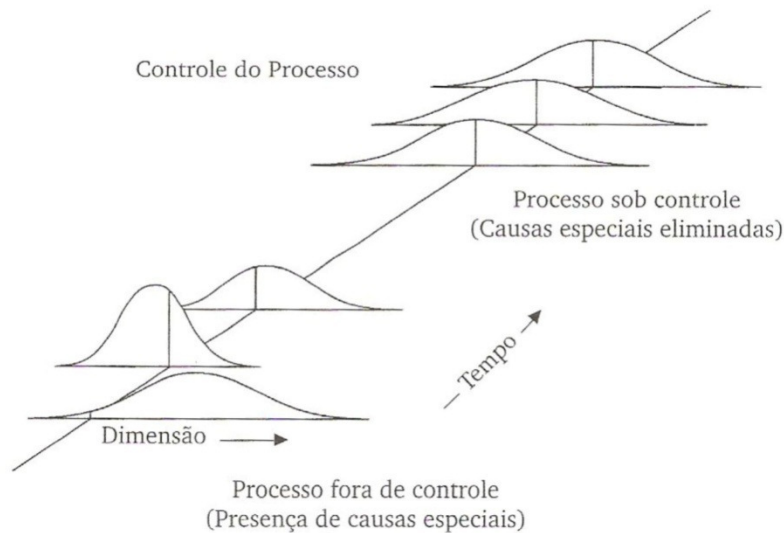
Fonte: Montgomery, (2004).

Todos estes esforços tinham como objetivo a redução da variabilidade dos processos, importante tanto para a melhoria na produtividade quanto na qualidade do produto final. A busca pela excelência da qualidade começa fazer diferença para as empresas na concorrência por um mercado consumidor cada vez mais disputado.

Há duas abordagens para o seis sigma, sendo uma administrativa, direcionada para a solução de problemas, melhorias dos processos, seus objetivos e metas, requerendo pessoas com habilidades para que executem as melhorias dos projetos. O objetivo é ter ganhos financeiros mais significativos controlando os negócios, diminuindo os gastos e melhorando a satisfação dos seus consumidores (Harry, 2000 apud Tonini, 2006). Já a abordagem técnica volta-se para a melhoria dos processos com o aumento do nível médio e a diminuição da variabilidade (Marash, 2000 apud Tonini, 2006).

Fala-se que um processo está estatisticamente estável ou sob controle, quando encontra-se apenas causas comuns de variação. Porém, todo processo terá causas especiais de variação sendo necessário esforços que podem perdurar um longo período de tempo para que seja estabilizado. Com isso, os gráficos de controle tornam-se uma ferramenta estatística fundamental na metodologia Seis Sigma, para que o processo seja verificado e tenha um desempenho previsível ou, por outro lado, adota-se ações para mantê-lo estável, conforme mostrado na figura 3.5 (ROTONDARO, 2008).

Figura 3.5 – Controle de Processo.



Fonte: Rotondaro (2008).

Produtos de alta tecnologia, por envolverem muitos componentes complexos, tornam-se propícios às falhas e defeitos. Pensando nisso, na década de 80, a Motorola começou a desenvolver um programa chamado Seis Sigma como alternativa para a demanda por esses produtos. Esse programa está focado na redução da variabilidade como sendo uma das principais características da qualidade do produto (MONTGOMERY, 2004).

O Seis Sigma tem por objetivo reduzir a variabilidade dos processos operacionais e organizacionais, por meio da aplicação de métodos e técnicas estatísticas e da qualidade, para que tais processos alcancem elevado nível de desempenho em termos de satisfação dos clientes (GRYNA, 2001; CORONADO e ANTONY, 2002 apud MARTINS, 2006, p. 3).

3.2 Histórico do seis sigma

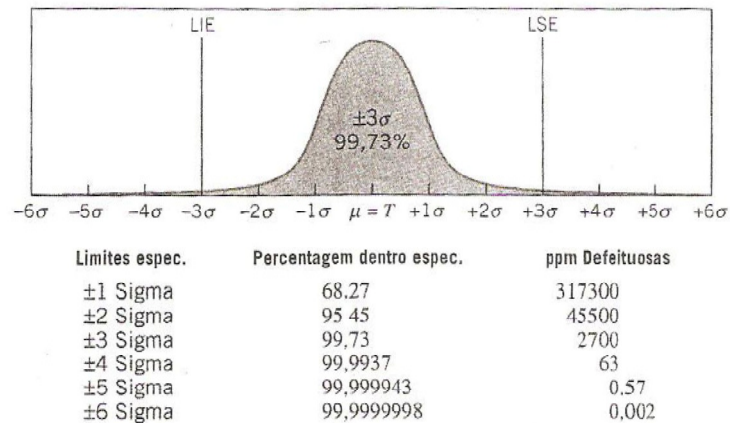
Perante um cenário de competição acirrada, o Seis Sigma aparece na década de 80, com o propósito de melhorar a qualidade dos processos e dos produtos da Motorola e em seguida da GE. O seu uso pela Motorola ocasionou sua recuperação e salvou-a da extinção e em relação à GE, em um período inferior a quatro anos, conseguiu alcançar bilhões em lucratividade (PANDE, 2007, apud DAMASCENO, 2009).

Segundo Eckes (2001), nos anos 80, Mikel Harry, engenheiro e estatístico da Motorola, começou a estudar os conceitos de Deming sobre variação de processos na sua própria empresa para que melhorasse o seu desempenho. Essas variações são conhecidas estatisticamente como o desvio-padrão da média e normalmente são representadas pela letra grega sigma (σ).

Em casos em que o desvio-padrão é elevado, existe grande variação entre os resultados do processo, o que mostra que há pouca uniformidade. Quando o valor do desvio-padrão é baixo, há a evidência de que os resultados do processo mostram pouca variação, comprovando que há muita uniformidade (GUTIERRES, 2009 p. 31).

Conforme mostra Montgomery (2004), o programa desenvolvido pela Motorola na década de 80 estava voltado para a redução da variabilidade da sua produção. A figura 3.6 abaixo mostra a especificação de três desvios padrão cada lado simétrico à média, ou seja, a probabilidade da produção estar dentro das especificações é de 0,9973 ou seja, 2700 partes por milhão (ppm), conhecido como desempenho de qualidade três sigma, o que deve haver apenas 2 partes por milhão de defeitos. Já para o conceito de qualidade seis-sigma a probabilidade do produto não sair com defeito é da ordem de 0,9999998 ou 0,2 ppm.

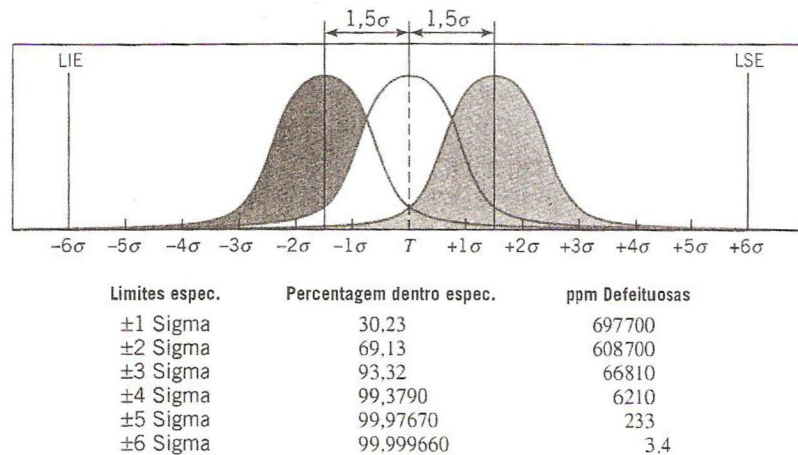
Figura 3.6 – Distribuição normal centrada no alvo (T).



Fonte: Montgomery (2004).

Ainda segundo o autor, o processo seis sigma quanto atingisse o nível de qualidade seis sigma poderia ainda assim ocorrer perturbações na média do processo em até 1,5 desvio padrão fora do alvo, conforme mostra a figura 3.7.

Figura 3.7 – Distribuição normal com média deslocada de 1,5σ do alvo. O conceito seis sigma da Motorola.



Fonte: Montgomery (2004).

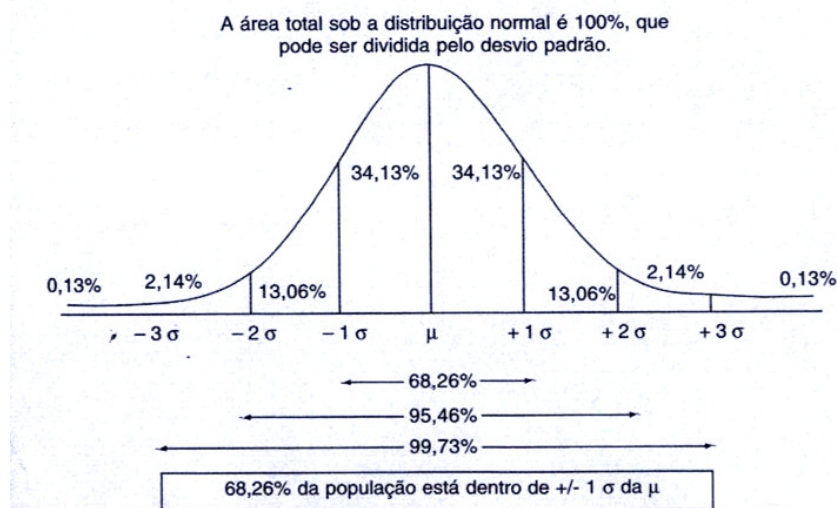
Eckes (2001) registrou que o seis sigma corresponde a uma destas afirmações:

- Uma medida de variação que consegue 3,4 defeitos por milhão de oportunidades.
- Um valor cultural ou filosofia de trabalho.
- Um sistema de mensuração.
- Uma meta.

3.3 Uma medida de variação que consegue 3,4 defeitos por milhão de oportunidades

Tecnicamente, o conceito de seis sigma é baseado na teoria da variação, ou seja, tudo o que pode ser medido com precisão sofre algum tipo de variação. Desta forma, tudo que for medido em uma escala contínua (exemplo: largura, altura, peso) segue o formato de uma normal, conforme a figura 3.8 abaixo.

Figura 3.8 – Curva em forma de sino segmentada



Fonte: Eckes (2001).

Esta curva é conhecida também como Curva Gaussiana, em homenagem ao matemático alemão que determinou empiricamente suas características como:

- A curva representa quase 100% do que está sendo medido.
- Tem o formato simétrico.
- O pico da curva representa a maior frequência ou média.
- A curva pode ser dividida em uma série de segmentos.

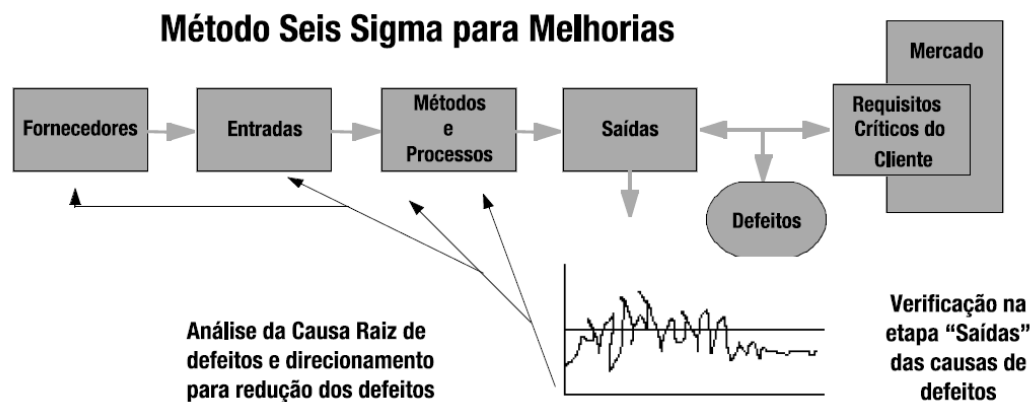
Sigma é uma letra grega, σ , usada na estratégia e na estatística matemática para representar o desvio padrão de uma distribuição. Em estatística matemática, letras simbolizadas em grego são usadas para representar parâmetros, e seus valores são sempre desconhecidos. Portanto, o valor de sigma é sempre desconhecido, mas é estimado calculando-se o desvio-padrão de uma amostra representativa. A distribuição normal (ou Gaussiana) teórica possui dois parâmetros, a média, μ , e o sigma, σ (...) (ALMEIDA, 2006, p.4).

Harry e Schroeder (1998) mostram que Seis Sigma tem características de um processo de negócio e que através da eliminação de defeitos, otimização das suas operações e melhorias da qualidade, as empresas tendem à um aumento significativo de seus lucros.

Na visão de Antony (2004), o Seis Sigma tem abordagem de estratégia de negócio, uma vez que as características do produto são fatores primordiais para o consumidor final, há uma preocupação na identificação de falhas e erros no seu processo de fabricação.

Segundo Rath & Strong (2001) a metodologia seis sigma procura, por meio de projetos de melhoria e de maneira sustentável, diminuir as falhas que, de certa forma, existem quando se tem uma linha de produção. A figura 3.9 mostra uma seqüência para implantação e aplicação do método Seis Sigma objetivando as melhorias dos negócios (BLAKESKEED JR., 1999 apud ANDRIETTA 2002).

Figura 3.9 – Método seis sigma para melhorias.



Fonte: (Blakesleed Jr., 1999 apud ANDRIETTA, 2002).

Na versão de Ingle e Roe (2001), o ponto fundamental do seis sigma é reduzir de forma contínua as variações dos produtos e seus processos, uma vez que mínimas variações em condições ambiente, o próprio desempenho do operador, as máquinas e matérias-primas podem ser responsáveis por ocasionar grandes acúmulos de problemas de qualidade.

Muitas empresas analisam seus processos medindo seus esforços em termos de média, ou seja, custo médio, tempo de ciclo médio dentre outros, esta mensuração pode estar disfarçando variações. Mensurar o processo por meio das variações permite à gerência a entender melhor o desempenho real de uma empresa e seus processos. O principal objetivo ao se aplicar o Seis Sigma é o de reduzir ou estreitar a variação (PANDE, 2007, apud DAMASCENO, 2009 p. 02).

Wilson e Perez (2000), abordam o seis sigma como um programa corporativo, estabelecendo padrões de capacidade seis sigma para que se atinja ao máximo o padrão zero defeito, há uma divisão a nível gerencial, sendo que cada colaborador tem a responsabilidade de melhorar a qualidade dentro do seu processo ou serviço. A outra divisão é chamada de operacional, que através dos métodos estatísticos, monitoram seus processos.

3.4 Capacidade do Processo (Cp e Cpk)

A adoção de técnicas de controle estatístico juntamente com estudos de índices de capacidade (ou capacidade), servem como ferramentas da qualidade para que as empresas possam ter parâmetros da variabilidade de seus processos. A diferença entre estas duas técnicas de estudos mostra que a primeira serve para que se conheça a estabilidade do processo, podendo prever seu comportamento. Já quando se estuda a capacidade do processo, tenta-se buscar resposta para a seguinte questão: “Uma vez que já se conhece o comportamento do processo, até quanto ele é capaz de produzir ou prestar serviços de acordo com as especificações do cliente? (ROTONDARO, 2008).

Para estudar a capacidade do processo, é preciso conhecer as especificações. Geralmente, quando se trata de uma empresa de manufatura, boa parte das especificações é fornecida pelo pessoal de engenharia para as áreas de produção e alterada somente quando houver um novo projeto (ROTONDARO, 2008, p. 166).

As técnicas estatísticas podem ser úteis em todo o ciclo do produto, inclusive de atividades anteriores à fabricação, para quantificar a variabilidade do processo, para analisar esta variabilidade em relação às exigências ou especificações do produto, e para ajudar o desenvolvimento e a fabricação na eliminação ou redução dessa variabilidade. Esta atividade geral é chamada de capacidade do processo. A capacidade do processo diz respeito à sua uniformidade (MONTGOMERY, 2004, p. 220).

Normalmente usa-se para medir a capacidade do processo, a dispersão do seis-sigma, admitindo-se uma distribuição normal com média μ e desvio padrão σ . Seus limites naturais inferiores e superiores de tolerância incluem 99,73% da variável ou apenas 0,27% da saída do processo fica fora dos limites, sendo eles respectivamente $\mu - 3\sigma$ e $\mu + 3\sigma$ (MONTGOMERY, 2004).

3.4.1 Interpretação da capacidade de um processo

Para Werkema (1996), usa-se uma fórmula bastante simples para exemplificar a capacidade de um processo:

$$Cp = \frac{LSE - LIE}{6\sigma}$$

onde: LSE = limite superior de especificação.

LIE = limite inferior de especificação.

O intervalo de confiança C_p é usado nas indústrias para considerar que o processo é ou não capaz. Um processo é potencialmente capaz desde que ($C_p > 1,33$), baseado em amostras de tamanho $30 \leq n \leq 50$ elementos (WERKEMA, 1996).

Para Montgomery (2004), o C_p não aborda a localização da média do processo em relação às especificações. Apenas mede a dispersão em relação à dispersão seis-sigma do processo. Exemplificando, na figura 3.10 têm ambas $C_p = 2,0$, mas já no item (b) a capacidade é inferior a do item (a), pois não opera no ponto médio do intervalo entre as especificações.

Esse fato pode ser analisado de uma forma mais precisa com uma nova grandeza (C_{pk}) que aborda a descentralização do processo, sendo:

$$C_{pk} = \min(C_{ps}, C_{pi})$$

O C_{pk} é simplesmente a razão da capacidade do processo (RCP) unilateral para os limites de especificação que estão próximos da média do processo, conforme segue abaixo:

$$C_{pk} = \min(C_{ps}, C_{pi})$$

$$C_{pk} = \min\left(C_{ps} = \frac{LSE - \mu}{3\sigma}, C_{pi} = \frac{\mu - LIE}{3\sigma}\right)$$

onde: C_{ps} = controle de processo superior

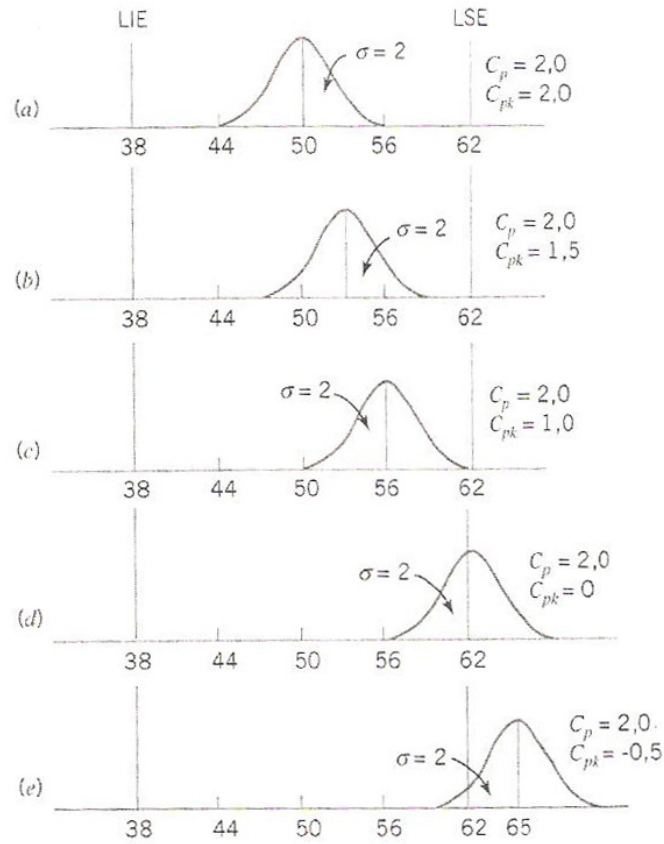
C_{pi} = controle de processo inferior

The index C_p considers the overall process variability relative to the manufacturing tolerance, reflecting product quality consistency. The index C_{pk} takes magnitude of process variance as well as process departure from target value, and has been regarded as a yield-based index since it providing lower bounds on process yield (HSU, 2008, 518).

O índice C_p considera a variabilidade relativa global do processo para a tolerância de fabricação, refletindo a consistência da qualidade do produto. O índice C_{pk} leva a magnitude da variância do processo, bem como um processo de partida para o valor alvo, e tem sido considerado como um rendimento baseado em um índice, uma vez que fornece os limites inferiores de rendimento sobre o processo (HSU, 2008, 518).

Ainda conforme o autor, geralmente, se $C_p = C_{pk}$, o processo está centrado no ponto médio das especificações, e quando $C_{pk} < C_p$ o processo não está centrado. A proporção C_{pk} em relação a C_p mede o quanto o sistema está operando fora de centro, como mostra na figura 3.10, item (c), $C_{pk} = 1,0$ e $C_p = 2,0$. Já no item (d), a média do processo é idêntica a um dos limites de especificação, conduzindo $C_{pk} = 0$. No item (e), quando $C_{pk} < 0$, indica que a média do processo está fora dos limites de especificação. Logo, se $C_{pk} < -1$, o processo todo está fora dos limites de especificação.

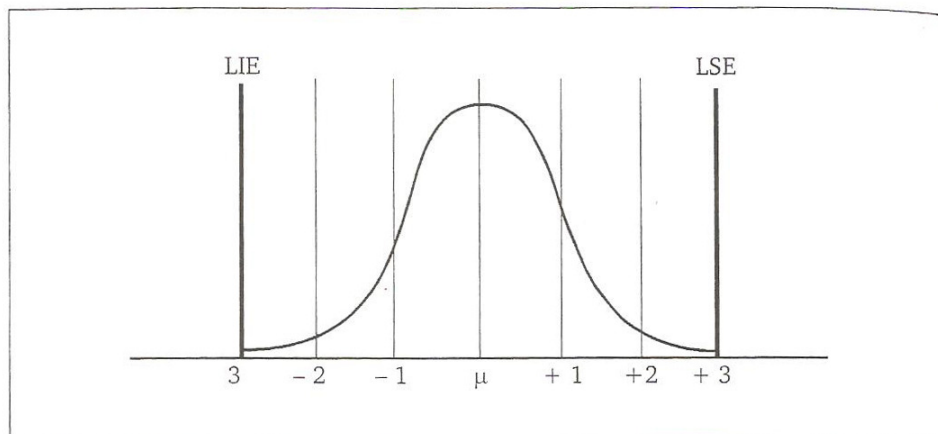
Figura 3.10 Relação Cp e Cpk



Fonte: Montgomery, 2004

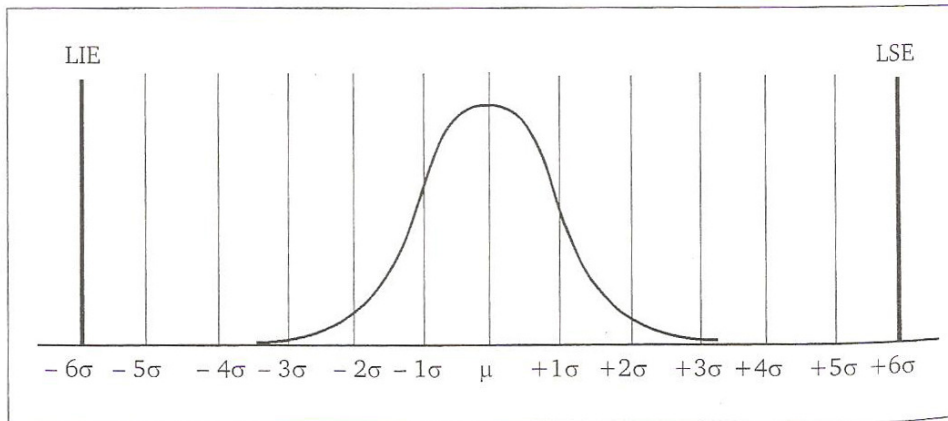
Na visão de Rotondaro (2008), quando o índice de capacidade (C_p) for igual a 1, significa que os limites de especificação estão a uma distância de três desvios-padrão em relação à média, conforme mostra figura 3.11, item (a). Porém, para que o processo seja considerado capaz, o C_{pk} deve ser igual a 2 (conforme figura 3.11, item (b)), ou seja a média deve estar a seis desvios-padrão dos limites de especificação.

Figura 3.11 (a). Índice $C_{pk} = 1$.



Fonte: Rotondaro, 2008

Figura 3.11 (b). Índice Cpk =2.

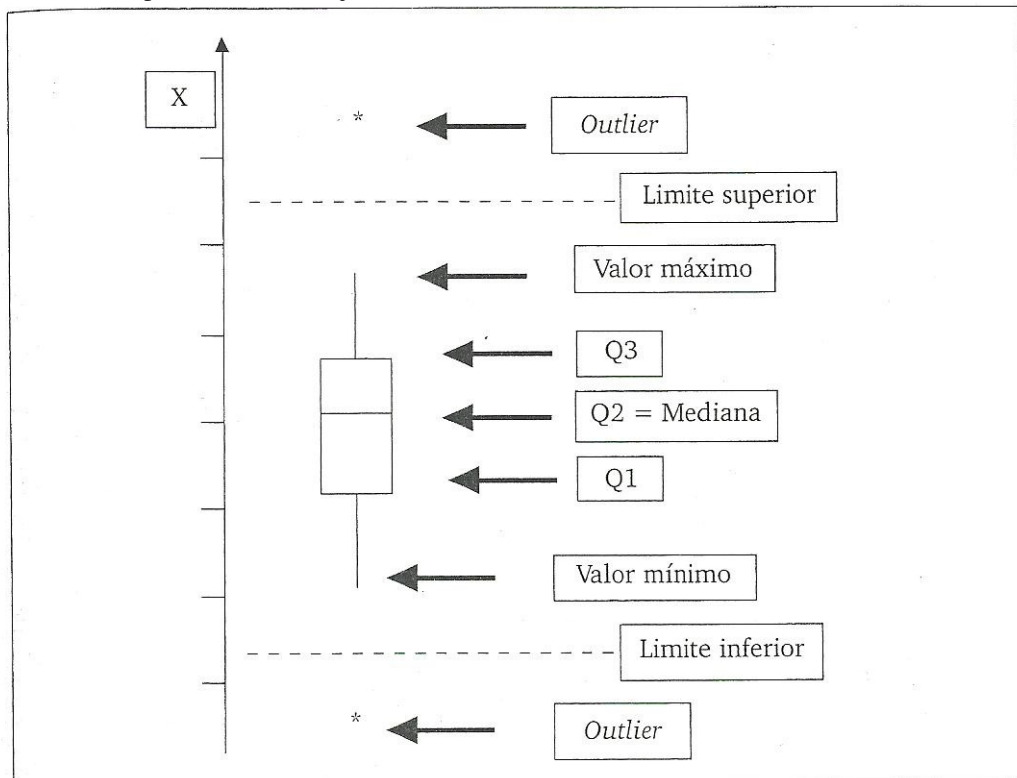


Fonte: Rotondaro, 2008

3.5 O gráfico *Box-Plot*

De acordo com Rotondaro (2008), o gráfico *Box-plot* tem um formato de “caixa” e é composto pelo primeiro quartil ou 25 percentil dos dados, o segundo quartil ou 50 percentil dos dados, que inclusive coincide com a mediana, o terceiro quartil ou 75 percentil dos dados, dos limites inferiores e superiores, que são definidos respectivamente por $Q1 - 1,5(Q3 - Q1)$ e $Q3 + 1,5(Q3 - Q1)$, além das observações que estão localizadas fora desses limites, chamadas de *outliers*, o qual necessitam de uma análise para verificar se faz a sua correção ou a sua desconsideração nos dados. O uso deste gráfico representa a variabilidade e simetria dos dados. Esse *outliers* são normalmente indicados por um asterisco (*), conforme a figura 3.12.

Figura 3.12 *Box-Plot* para um único conjunto de dados.

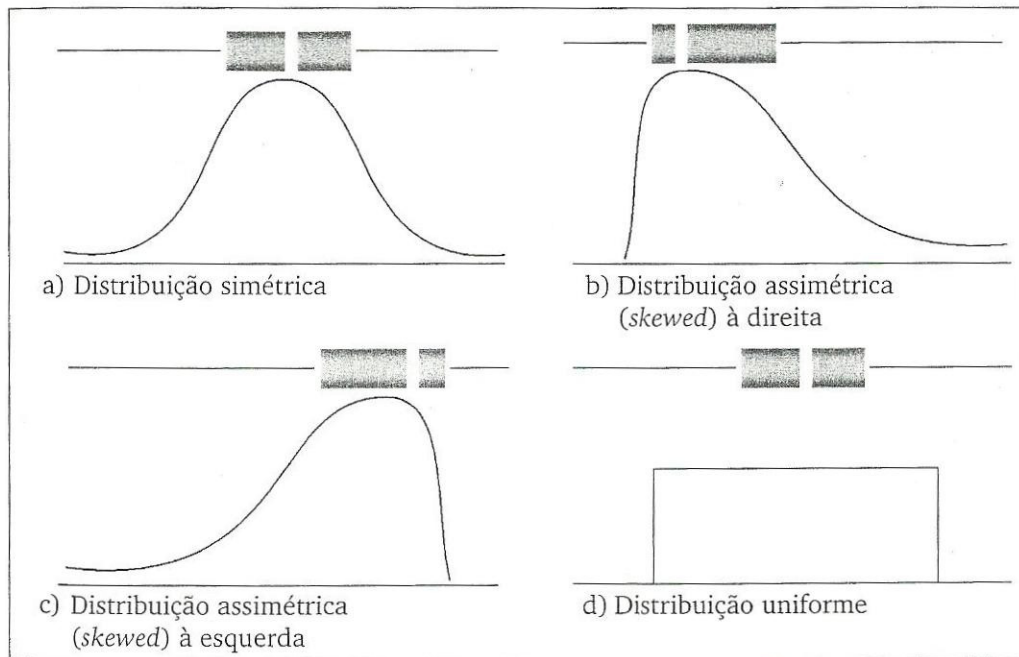


Fonte: Rotondaro, 2008

3.5.1 Interpretações do *Box Plot*

Para Werkema (1995), se a distribuição dos dados for uma simetria, a mediana assumirá uma posição de linha central dentro do retângulo, conforme figura 3.13 (a). Se a distribuição dos dados assumir um formato assimétrico à direita, significa que a metade inferior dos dados estarão numa faixa de comprimento menor do que a região ocupada pela outra metade superior do conjunto de dados, mostrado na figura 3.13 (b). Para um conjunto de dados, cujo a metade superior encontrar-se em uma região menor do que a região ocupada pela metade inferior dos dados, figura 3.13 (c), pode-se falar que é uma figura com distribuição assimétrica à esquerda.

Figura 3.13 Forma da distribuição x Forma do *Box-Plot*.

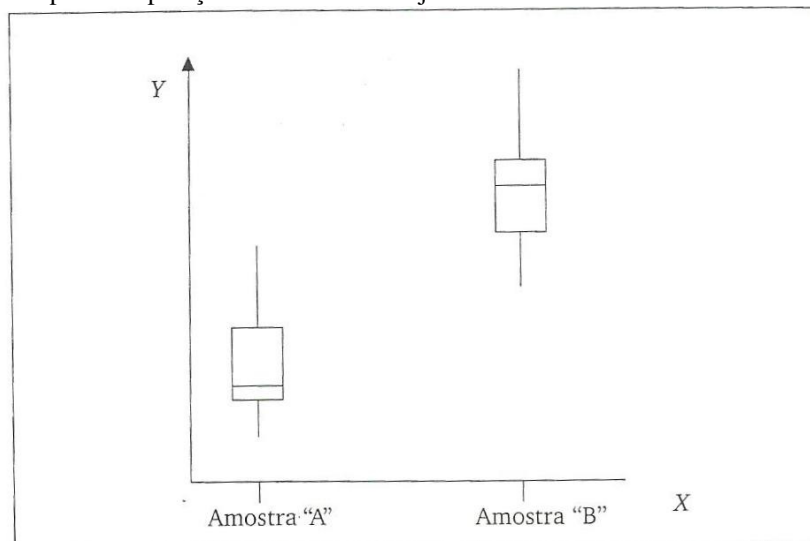


Fonte: Rotondaro, 2008

O gráfico *Box Plot* é muito utilizado para comparação de dois ou mais conjunto de dados, apontando diferenças de comportamentos em um conjuntos de dados, conforme figura 3.14.

Na visão de Rotondaro (2008) esta diferença na análise gráfica só poderia ser detectada se a mediana de uma “caixa” estiver bem fora da mediana da outra “caixa”. Para uma análise mais apurada, recomenda-se fazer o uso do Teste de Hipótese e análise de variância (ROTONDARO, 2008).

Figura 3.14 *Box-Plots* para comparação de diferentes conjuntos de dados.



Fonte: Rotondaro, 2008

3.6 O método DMAIC

Para Adams (2003), existe alguns passos sistemáticos que a metodologia seis sigma usa para que possa trazer a solução dos problemas, conhecidas como método DMAIC.

Seis Sigma é uma metodologia rigorosa que utiliza ferramentas e métodos estatísticos para definir os problemas e situações a melhorar, medir para obter a informação e os dados, analisar a informação coletada, incorporar e empreender melhorias nos processos e, finalmente, controlar os processos ou produtos existentes, com a finalidade de alcançar etapas ótimas, o que por sua vez gerará um ciclo de melhoria contínua (ROTONDARO, 2008, p.18).

Um dos aspectos importantes para o sucesso da implementação de projetos de melhoria estruturados pelo Seis Sigma é o foco numa abordagem quantitativa disciplinada para melhoria de métricas definidas nos processos de manufatura, de serviço e financeiros que consiste num ciclo de melhoria de cinco fases: o “DMAIC”. Cada letra dessa sigla tem um significado bem definido, os quais são, respectivamente, Definição (D), Medição (M), Análise (A), Melhoria (I) e Controle (C), que funciona como um roteiro de execução de cada etapa do projeto (HARRY; SCHROEDER, 2000 apud SILVA, 2005 p.05)

Segundo Eckes (2001, p.48) “segue-se no próximo parágrafo uma visão de alto nível da metodologia Seis Sigma de melhoria utilizada pela GE”.

- Definir – Define o cliente, suas exigências, a constituição da equipe e o processo chave que afeta o cliente.
- *Medir* – Identifica as medidas-chave, o plano para coleta de dados sobre o processo em questão e executa este plano.
- Analisar – Analisa os dados coletados e o próprio processo para determinar as causas de seu desempenho estar abaixo do desejado.
- Melhorar – Gera e determina soluções potenciais e testa-as em pequena escala para descobrir se elas realmente melhoram o desempenho do processo.
- Controlar – Desenvolve, documenta e implementa um plano que assegure que a melhoria do desempenho permaneça no nível desejado.

Na versão de Hensley e Dobie (2005) o método DMAIC é descrito da seguinte maneira:

3.6.1 Definir

O processo é definido, com a identificação dos problemas e suas características principais para a qualidade. A metodologia Seis Sigma aponta que a identificação do

problema e o entendimento do seu processo só é possível com a colaboração de todos, desde os empregados, passando pelos clientes e chegando até os gerentes.

3.6.2 Medir

Uma vez identificado o problema, nesta etapa ele será medido para que o seu desempenho seja verificado. As falhas nesta etapa são descritas como: ausência de coleta de dados, perda dos dados coletados ou a medição dos dados não corresponde ao que se propõe pesquisar.

3.6.3 Analisar

Para esta etapa, busca verificar quais são as atividades que agregam algum tipo de valor e as que não agregam e até mesmo aquelas que tem diretamente alguma relação com o problema em estudo. São necessárias algumas ferramentas que ajudam a fazer o mapeamento desta análise como por exemplo: análise dos cinco porquês, diagrama de causa-e-efeito, diagrama de dispersão, planejamento de experimentos etc.

3.6.4 Melhorar

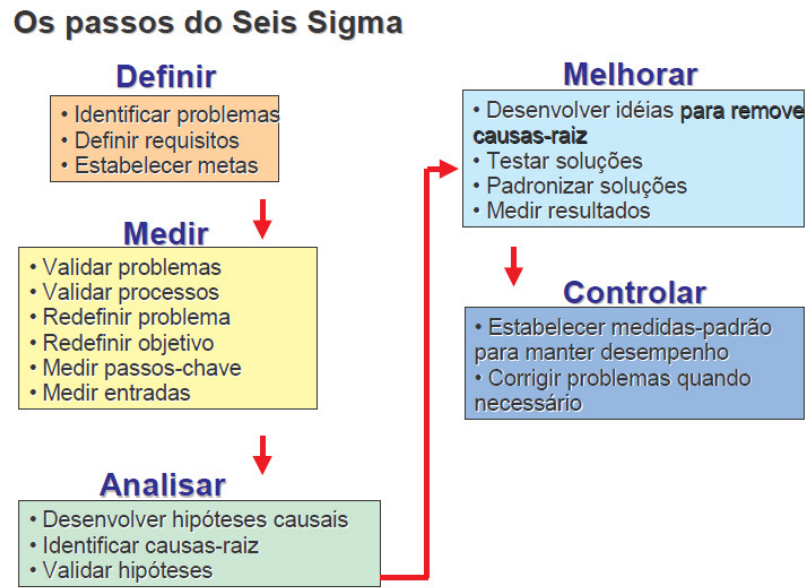
Quando esta fase é alcançada, o importante é fazer a implantação das mudanças necessárias para que se tenha a melhoria desejada. Essas mudanças, que estão relacionadas diretamente com o cliente e identificadas previamente no item anterior, tem o firme propósito de eliminar os desperdícios, erradicar os defeitos e reduzir os custos. Um *brainstorming* seria uma ferramenta fundamental a ser utilizada para atender a estas necessidades, propondo soluções e alternativas para a implantação de projetos.

3.6.5 Controlar

Nesta última etapa tem a finalidade de medir e avaliar os resultados das mudanças dos processos que foram realizadas. Ter um *feedback* sobre o que foi obtido de acordo com as melhorias, é fundamental para monitorar os ganhos ou até mesmo de aumentá-los através de novas formas de aperfeiçoamento dos processos.

Pode-se observar os passos do DMAIC é conforme a figura 3.10 abaixo.

Figura 3.15 – Metodologia DMAIC utilizada nos projetos seis sigma.

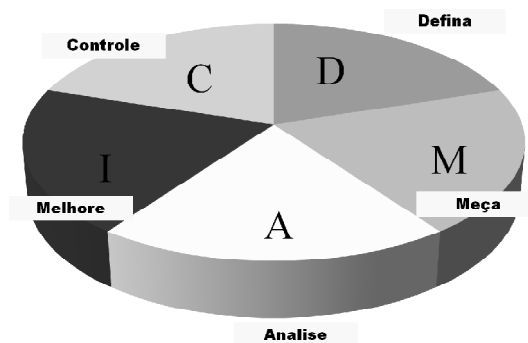


Fonte: Nave (2002), citado por Almeida (2006)

É amplamente aceito nas indústrias japonesas que o processo de controle segue o chamado Ciclo de Deming, composto de quatro etapas: *planejar, fazer, verificar, agir*. O objetivo (ou padrão) e o processo devem ser estabelecidos antes da execução do trabalho. Os resultados são então verificados, comparando-os com o padrão. Se houver qualquer diferença significativa após a avaliação, são tomadas ações corretivas. Por meio do ciclo planejar-fazer-verificar-agir (PDCA – *plan-do-check-act*), espera-se que não só os resultados obtidos, mas também o processo propriamente dito, seja melhorado em uma espiral ascendente. Isso conduz ao aperfeiçoamento e fortalecimento da estrutura da empresa (JURAN, 1993 p. 144).

Para Damasceno (2009), o DMAIC é baseado no ciclo PDCA, para esforços de melhoria de processos e também aos projetos e reprojatos, conforme as suas fases na figura 3.11 abaixo.

Figura 3.16 – O modelo DMAIC de melhoria Seis Sigma



Fonte: Pande (2007) apud Damasceno (2009).

Segue no quadro 3.1 abaixo os passos do modelo DMAIC.

Quadro 3.1 - Passos do DMAIC

	MELHORIA DE PROCESSO
DEFINA	- Identifique o problema - Defina requisitos - Estabeleça meta
MEÇA	- Valide problema/processo - Redefina problema /objetivo - Meça passos-chave/entradas
ANALISE	- Desenvolva hipóteses causais - Identifique causas-raiz -Valide hipóteses
MELHORE	- Desenvolva idéias para remover causas-raiz - Teste soluções - Padronize solução/meça resultados
CONTROLE	- Estabeleça medidas-padrão para manter desempenho - Corrija problema quando necessário

Fonte: Pande (2007) apud Damasceno (2009).

Segundo Werkema (1996, p.02) “o ciclo PDCA é um método gerencial de tomada de decisões para garantir o alcance das metas necessárias à sobrevivência de uma organização”.

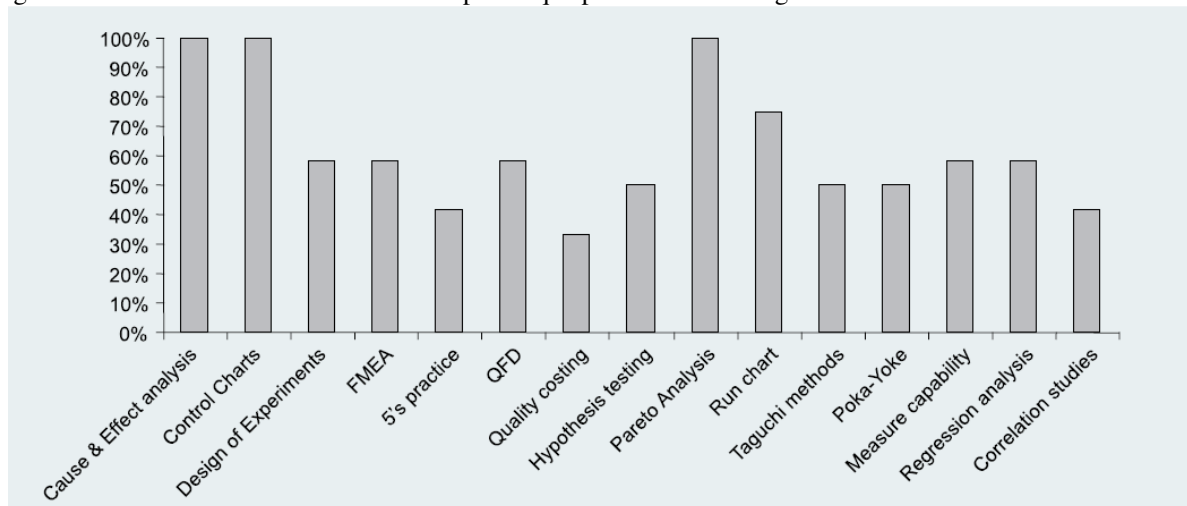
Para Wekema (1995), por ser um método de gestão, o Ciclo PDCA, tem o papel de mostrar como as metas estabelecidas poderão ser alcançadas. Ainda segundo a autora, para que se consiga coletar, processar e dispor de informações importantes para dirigir as etapas do ciclo PDCA, este método utiliza-se de várias ferramentas da qualidade que abordam algumas técnicas estatísticas fundamentais, conhecidas como as Sete Ferramentas da Qualidade, às quais podemos citar:

1. Amostragem.
2. Análise de Variância.
3. Análise de Regressão.
4. Planejamento de Experimentos.
5. Otimização de Processos.
6. Análise Multivariada.
7. Confiabilidade.

As medidas mais comuns usadas por empresas do Reino Unido que praticam da metodologia Seis Sigmas incluem alguns processos como: capacidade (Cp e Cpk), taxa de defeitos, custos de má qualidade, porcentagem de sucata, rendimentos e reclamações de consumidores. Somando-se a isso, há também algumas técnicas e ferramentas que as empresas costumam usar para a prática do seis sigmas, dentre elas: Análise de Causa e Efeito,

Gráfico de Pareto e Gráficos de Controles. Em contrapartida, muitas técnicas mais sofisticadas como Planejamento de Experimento, Método de Taguchi, Gráficos de Controle de Processos, FMEA etc, não são usadas com frequência, conforme mostra figura 3.12 abaixo (ANTONY J, 2002).

Figura 3.17 – Ferramentas e técnicas em empresas que praticam o Seis Sigma.



Fonte: Antony, J (2002).

Eckes (2001) comenta que o uso de ferramentas estatísticas pelas empresas, para obter vantagens competitivas perante a concorrência, estão se mostrando cada vez mais eficazes.

Essas ferramentas estatísticas têm por objetivo apontar para a empresa quais seriam as áreas críticas de seus processos de produção, fundamentais para que se atinja a melhoria desses seus processos.

O Seis Sigma é indispensável na busca da satisfação do cliente através de uma melhor compreensão da sua exigência e das entradas críticas dos processos que se tornam necessárias para responder a alterações nas exigências e especificações definidas, a melhoria da qualidade, ganhos nos fluxos de processos, aumento da produtividade, (...). (CAUCHICK, ANDRIETTA AUCHICK, 2009 apud SILVA, 2005 p. 03).

3.7 Fatores críticos para obter o sucesso na implantação do seis sigmas

Este tópico trata de fatores que mostram possibilidades de se obter resultados na implantação da metodologia Seis Sigma nas empresas.

A sua implantação requer esforços para que se tenha uma mudança cultural na empresa, com o objetivo de satisfazer seus clientes, com maiores e competitividade e lucratividade (PANDE, et al, 2001).

O fundamental é que a empresa esteja totalmente comprometida e engajada para que a metodologia seis sigma tenha resultados realmente surpreendentes. Isso só será possível através de uma postura firme, com ações sólidas e bem definidas de todos os seus colaboradores, partindo principalmente de uma mudança comportamental da alta gerência, sem o qual não há nenhuma possibilidade de sucesso na sua implementação.

Na visão de Sohal (1998), a cultura organizacional da empresa é responsável pelo sucesso no mercado e para o Seis Sigma, que exige a participação de todos da empresa, isso torna-se fundamental para o seu sucesso. As pessoas que fazem parte da organização devem estar conscientes de que a mudança cultural é importante e pode ser alcançada através dos meios de comunicação, da motivação e da educação. Ainda segundo o autor, devem-se ultrapassar obstáculos como o medo da mudança e o de não atingir metas e padrões estabelecidos. É fundamental que a rotina do Seis Sigma se estabeleça na organização, tornar público os resultados dos projetos e sempre explicar o programa.

Para Antony e Banuelas (2002), um dos principais ingredientes que respondem pelo sucesso da implementação do programa é o comprometimento da alta gerência.

Há de se dizer que se caso a alta gerência não estiver totalmente comprometida, todos os esforços que convergirem para o sucesso do programa não terão êxito (Sandholm e Sörqvist (2002).

Henderson e Evan (2000) tem identificado os componentes chaves para o sucesso da implementação do programa Seis Sigma, tais como suporte da alta gerência, infra-estrutura organizacional, treinamento, aplicações de ferramentas estatísticas e ações baseadas em recursos humanos (exemplo: bônus, promoções, etc).

Antony e Banuelas (2002), defende que para que o programa seis sigma tenha sucesso na sua implementação, é fundamental que todos os colaboradores da empresa, desde o operacional aos técnicos, entendam a sua metodologia.

Segundo Grillo Filho (2006), além do comprometimento da alta gerência, treinamentos, ligação do Seis Sigma à estratégia da corporação, clientes e fornecedores, devem-se considerar alguns fatores citados abaixo:

- Diferentemente do que acontece em empresas de grande porte, que estabelecem alguns projetos Seis Sigma que não requerem a medição de retorno financeiro; os projetos em empresas de pequeno e médio portes devem estar focados a gerar impactos na margem de lucro ou redução de despesas. Não há espaço para se desenvolver projetos cujo retorno não reflita nas duas questões acima.

- Em função da abundância de recursos e estrutura organizacional disponível, empresas de grande porte geram uma grande quantidade de projetos Seis Sigma em suas várias etapas de implementação. Temos clientes que possuem, aproximadamente, 2000 projetos cadastrados. Nas pequenas e médias empresas é inimaginável abrir um leque muito grande de projetos. Assim, um número reduzido de projetos devem ser abertos, concentrando esforços e mobilizando a inteligência das pessoas para questões estratégicas da empresa.
- A carga de treinamento para a implementação da metodologia deve ser ajustada e reduzida para pequenas e médias empresas. Sem perder a essência e a aplicabilidade, os treinamentos devem focar aspectos práticos e interpretativos das ferramentas utilizadas pela metodologia. Isto é concentrar esforços em mostrar “o que”, “porque” e “como”.
- A estrutura organizacional de suporte e implementação da metodologia deve ser reduzida em relação às grandes empresas. Deve-se criar uma estrutura ágil e composta por pessoal que possua alta credibilidade junto aos demais funcionários da empresa. Educa-se por atitude e não por palavras.
- O papel e a metodologia da empresa de consultoria, caso contratada, deve ser diferente daquele normalmente empregado em empresas de grande porte.
- Para empresas de pequeno e médio portes, a consultoria deverá prover treinamentos em módulos conforme aplicação nos projetos, deverá fazer parte do grupo que operacionaliza a metodologia sem deixar, entretanto, de lembrar que toda a tecnologia da metodologia Seis Sigma deve ser transferida para a organização que a contratou.
- Como em qualquer organização, a metodologia seis sigma deverá estar integrada com os sistemas de gestão, tais como ISO 9000, ISO 14000, entre outros e ser uma das principais ferramentas de suporte à implementação da estratégia da empresa.

Ter uma equipe bem capacitada e treinada para que saibam minimizar e até mesmo resolver as várias formas de variações que surgem nos processos não deixando seus impactos serem sentidos externamente, envolve muito treinamento e investimentos.

Sandholm e Sörqvist (2002) defendem que além do foco em resultados como exigência de sucesso é decisivo ter investimentos significativos na implementação do programa seis sigma, priorizando a sua metodologia e treinamento, através da capacitação dos funcionários.

Segundo Antony e Banuelas (2002), segue alguns fatores críticos de sucesso encontrados na literatura:

- Envolvimento e compromisso de gerenciamento.
- Mudança cultural.
- Infra-estrutura organizacional.
- Treinamento.
- Habilidades de gerenciamento de projetos.
- Priorização e seleção de projetos, revisões e acompanhamentos.
- Entendendo a metodologia Seis Sigma, ferramentas e técnicas.
- Vinculação do Seis Sigma à estratégia de negócios.
- Vinculação do Seis Sigma ao consumidor.
- Vinculação do Seis Sigma aos recursos humanos.
- Vinculação do Seis Sigma aos fornecedores.

O comprometimento da alta gerência torna-se importante para o sucesso do seis sigma, fato que ajudou Jack Welch, diretor da General Electric a fazer reestruturações e mudanças de atitudes dos seus empregados (HENDERSON and EVAN, 2000). Essa mudança cultural torna-se determinante, e deve estar presente em todos os níveis hierárquicos da organização, apoiada sobre programas de desenvolvimento, treinando funcionários, com boa formação estatística, capazes de identificar e liderar equipes para execução e gestão de projetos, responsabilidade para o chefe executivo, conhecidos como CEO (*Chief Executive Officer*), obtendo suporte de pessoas com formação e treinamento na área do seis sigma, o qual é identificada através do sistema de faixas, como *os champions, master black belts, black belts e green belts*.

Para uma seleção de projetos, há fatores que devem ser considerados, por exemplo: qual será o resultado na satisfação do cliente, o impacto financeiro do projeto, se há viabilidade de recursos, qual a sua complexidade e também se há conhecimentos especializados disponíveis). O treinamento do seis sigma segue uma metodologia conhecida como DMAIC, aborda também técnicas de liderança e ferramentas estatísticas avançadas, como planejamento de experimentos, CEP, análise de variância, regressão, etc). Isso tudo não torna o seis sigma uma atividade independente, exige a adesão de uma metodologia e não apenas ao uso de ferramentas e técnicas de melhorias de qualidade (DALE, 2000). Os projetos seis sigma serão rentáveis desde que diminuam a variabilidade que causam os defeitos,

retrabalho e baixa produtividade, sendo importante o elo entre a estratégia de negócios e os objetivos do projeto. Outro quesito do seis sigma é a sua facilidade em aproximar-se do consumidor, através da identificação das suas necessidades e expectativas e a partir daí poder convertê-las em projetos.

Torna-se importante para a empresa vincular os resultados e estratégias que deseja alcançar com promoções e recompensas para seus funcionários. Na GE, as promoções eram feitas após a completa formação do treinamento do seis sigma e um projeto terminado. Além disso, Jack Welch exige que os projetos sejam gerenciados pelo “faixa preta” para provar que os problemas são definitivamente resolvidos por eles. (CONLIN, 1998).

Outro fato que deve ser lembrado estender os princípios do seis sigma para o gerenciamento da sua cadeia de suprimentos, uma vez que a empresa deve estar participando os seus fornecedores dessa mudança de cultura e obtendo assim o seu apoio, contribuindo para a redução da variabilidade.

Segundo essa linha de raciocínio, Almeida (2006) propõe a aplicação da teoria das restrições para conseguir identificar quais são as áreas críticas dos processos a fim de que possam ser aperfeiçoadas e que na sequência seja implementado o projeto seis sigma objetivando a melhoria de todo o sistema.

4 Fundamentação teórica integrando toc & seis sigma

Na visão de Jin (2009), mesmo que o seis sigma e a teoria das restrições tenham metodologias diferentes, muitas indústrias complementam seus negócios através do uso de uma das metodologias ou faz até mesmo o uso de ambas as metodologias para que resolvam suas necessidades.

O seis sigma pode resolver problemas mais complexos que requerem soluções mais aprofundadas, já a teoria das restrições tem a capacidade de encontrar os gargalos na linha de produção e expandi-los.

Segundo Nave (2002), essas duas metodologias se complementam, de tal forma, que consiste primeiramente em identificar a restrição do sistema pela teoria das restrições, abrindo caminhos para que o seis sigma possa intervir a fim de reduzir a sua variabilidade.

Para Jin (2009), se há gargalo é porque existe pelo menos uma razão desconhecida que está limitando a produção, fazendo com que haja acúmulos de produtos na etapa que o antecede, e fornecendo um fluxo insuficiente para atender a demanda nas etapas seguintes; porém uma redução de variação pode até contribuir para a geração de benefícios secundários, mas nem sempre ampliará a produção no ponto da restrição.

Nave (2002) argumenta que cada metodologia tem os seus conceitos e com perspectivas de trabalho para atingir objetivos diferentes. Porém ao atingirem etapas com efeitos secundários, os resultados das metodologias começam a ficar parecidos, conforme mostra o quadro 4.1.

Quadro 4.1 – Comparação dos Programas de Melhorias

Programa	Seis Sigma	Teoria das Restrições
Teoria	Reduzir a variação	Lidar com as restrições
Diretrizes de aplicação	1. Definir. 2. Medir. 3. Analisar. 4. Melhorar 5. Controlar	1. Identificar restrição. 2. Explorar restrição. 3. Subordinar processos. 4. Melhorar a restrição. 5. Repetir o ciclo.
Foco	Foco no problema	Restrições do Sistema
Pressupostos	Há um problema. Gráficos e números são valorizados. Os resultados do sistema são melhorados se a variação em todos os processos for reduzida.	Ênfase na velocidade e no volume. Utiliza os sistemas existentes. Interdependência de processos.
Efeito principal	Resultado uniforme do processo.	Melhoria da saída do processo.
Efeitos secundários	Menos desperdício. Melhoria da saída do processo. Menos estoque. Flutuação avaliação de desempenho pelos gerentes. Qualidade melhorada.	Menos estoque e desperdício. Contabilidade dos custos do processo. Processo de saída sistema de medição de desempenho. Qualidade melhorada.
Críticas	A interação do sistema não é considerada. Os processos são aperfeiçoados independentemente.	Influência mínima do trabalhador. Análise de dados não valorizada.

Fonte: Nave (2002).

Uma vez que o gargalo foi localizado pela TOC, deve-se verificar se ele está diretamente relacionado com problemas de variabilidade, permitindo que se possa aplicar as ferramentas do seis sigma melhorando a uniformidade do processo e, ampliando o fluxo de sua capacidade de produção neste ponto da restrição.

If the constraint is quality or product variation issue, then uses the Six Sigma to analysis and solve the constraint. The concept of Six Sigma is reducing variation, and the general procedures are: (1) Define, (2) Measure, (3) Analyze, (4) Improve, and (5) Control (CHANG, 2010, p.752).

Se a qualidade ou a variação da produção for a restrição, então usa-se o Seis Sigma para analisar e solucionar a restrição. O conceito do Seis Sigma é reduzir a variação, e os procedimentos gerais são: (1) Definir, (2) Medir, (3) Analisar, (4) Melhorar e (5) Controlar (CHANG, 2010, p.752).

Para Jin (2009), essa integração torna-se fundamental, principalmente quando se olha a organização como um todo, com o propósito de identificar primeiramente o gargalo pela teoria das restrições, mostrando qual é o setor da empresa que tem o elo mais fraco de todo o sistema, responsável pelas perdas e diminuição da lucratividade. Uma vez identificado o gargalo, o seis sigma seguirá com a responsabilidade de verificar o grau de variabilidade mostrando como está a uniformidade do processo e o quanto isso está interferindo no ganho de tempo e no inventário.

De acordo com Ehie e Sheu (2005), verifica-se certa semelhança nos aspectos gerenciais da teoria das restrições, com as técnicas de gerenciamento aplicadas com o seis sigma, podendo haver em cada etapa da implementação da teoria das restrições uma correlação com o seis sigma.

Na visão de Jin (2009), a análise dos dados coletados e dos gráficos poderá servir de suporte para identificar e medir o gargalo, aumentando a compreensão do sistema como um todo. Deve-se enfatizar que a metodologia seis sigma não escolhe aleatoriamente ou mede apenas uma área do processo, isso é feito através de um pensamento sistêmico baseado na Teoria das Restrições, envolvendo todo o sistema. Segundo o mesmo autor, a integração entre essas duas metodologias não garante os resultados esperados.

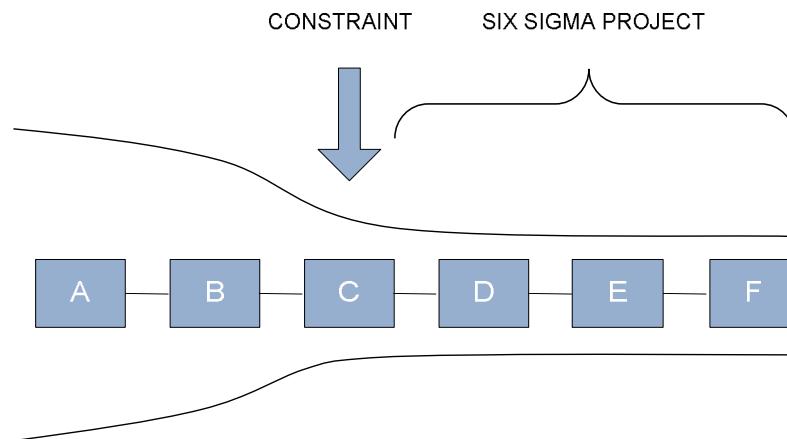
Na visão da Teoria das Restrições, para a definição de processos candidatos a implementação de projetos Seis Sigma, deve-se identificar a restrição ao ganho global da organização e não somente a variabilidade que resulta em economia ou redução de desperdício de forma pontual, em uma área ou processo. Sob o ponto de vista da TOC, a redução de variabilidades em processo específico deve resultar não somente em menores desperdícios ou custos a este processo, mas, principalmente, a ganhos organizacionais globais. Neste sentido, o foco dos projetos Seis Sigma deve estar nas restrições do sistema ou nos processos com baixa capacidade protetiva (candidatos a restrição) (ALMEIDA, 2006, p.07).

Segundo Jin (2009), é importante que a seleção de projetos proporcione melhorias na produção. Estes modelos de seleção identificam a importância dos projetos de acordo com os objetivos da companhia, porém não consideram o elo mais fraco da produção. Por sua vez, o modelo integrado volta-se para este elo e também para melhorias no processo, procurando conduzir a restrição para a demanda. Para o autor, quando o gargalo é encontrado na linha de produção, é o momento da fase de seleção de projetos para que o seis sigma venha a ser implementado. É um conceito que parece racional, e por isso é aproveitado por ambas as metodologias, porém deve sempre lembrar que enquanto o gerenciamento das restrições procura expandir a produção na indústria, o seis sigma tenta reduzir a variação na linha de

produção. Esta diferença é tangível nos objetivos de cada metodologia: a meta final do seis sigma é o cliente, e o foco do gerenciamento das restrições é voltado para a indústria.

O modelo criado é baseado partindo do princípio que as empresas possuem orçamento limitado para fazer melhorias. Iniciando o projeto seis sigma logo após a restrição e com o propósito de integrar as duas metodologias, o modelo segue uma ordem e conserva os objetivos de cada metodologia, mostrando as diferentes etapas dos conjuntos de processos. As linhas representam sua capacidade, quando a distância entre as linhas diminui, significa que a capacidade do processo decresce e o gargalo é evidenciado; após o processo gargalo, a capacidade remanescente se manterá a mesma até o final da linha, considerada a melhor área para implementar o projeto Seis Sigma (JIN, 2009), conforme a figura 4.1.

Figura 4.1 - Representação do modelo integrado.



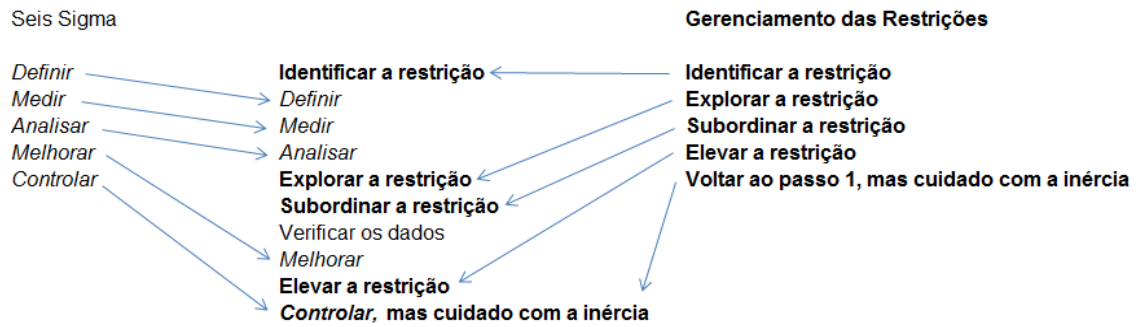
Fonte: Jin Kai, et all (2009).

Another complication with this method, is that even if the constraint reduces its variation and more productions comes from the bottleneck, it is still open to become a rejection in a later process that was not measured because Six Sigma focused only in the Constraint found. A part that passes through the constraint is like gold to the company, ruining it in a later process is the same as having the constraint idle for the time it took to work on that piece (JIN 2009, p.551).

Outra complicação deste método é que mesmo que a variação se reduza na restrição, os produtos vindos do gargalo poderão ter a possibilidade de se tornarem uma rejeição em processos posteriores que não foram medidos porque o Seis Sigma focou apenas a restrição encontrada. A parte que passa pela restrição é como ouro para empresa. Arruiná-lo em um processo posterior é o mesmo que ter a restrição inútil no tempo que levou para trabalhar naquele pedaço (JIN 2009, p.551).

O modelo integrado apoia-se nos princípios de ambas as metodologias, fazendo com que o programa de melhorias tenha uma sequência já conhecida. O uso conjunto das etapas de cada passo de cada uma das metodologias (TOC & Seis Sigma), irá gerar um único roteiro conforme mostrado na figura 4.2.

Figura 4.2 - Modelo integrado



Fonte: Jin Kai, et all (2009).

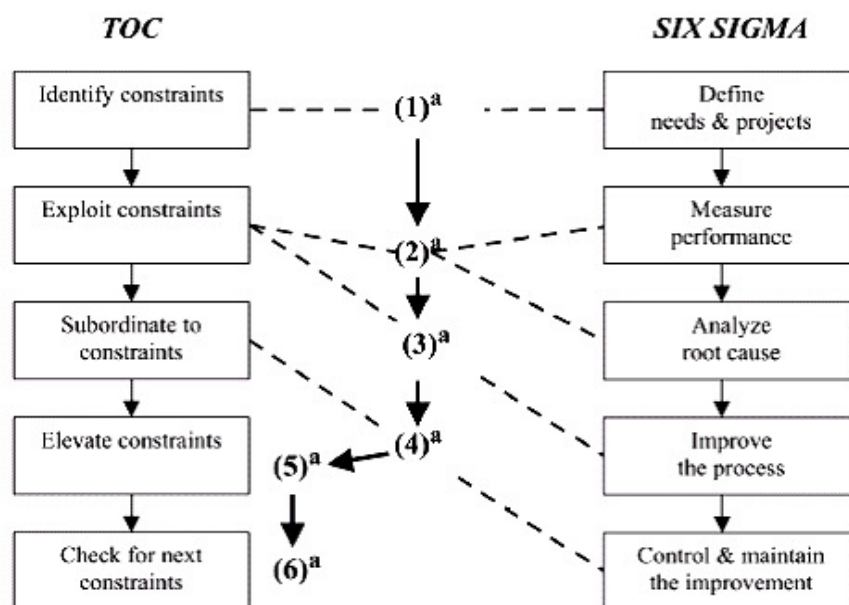
Segundo Almeida (2006), segue abaixo os passos propostos da integração:

1. Identificar a restrição e verificar seu impacto global;
2. Definir os projetos seis sigma de acordo com o impacto global;
3. Explorar a restrição, medir sua performance, analisar as causas que a transforma em restrição e melhorar os processos;
4. Subordinar à restrição;
5. Controlar e manter a melhoria;
6. Elevar a restrição;
7. Avaliar a próxima restrição.

Para EIHE (2005. p, 09), a integração é mostrada através da figura 4.3.

Figura 4.3 - Integrated CI Framework: Combining Six Sigma and TOC

CI = Continuous Improvement



Fonte: Jin Kai, et all (2009).

Esta integração entre seis sigma e TOC pode ser ajustada e ilustrada da mesma maneira, através do quadro 4.2 (KASEMSET, 2011, p. 329).

Quadro 4.2 – O sistema integrado entre seis sigma e toc

Sistema Integrado	TOC (Passos)	Seis Sigma (Passos)
Passo 1	(1) Identificar as restrições	(1) Definir necessidades & projetos
Passo 2	(2) Explorar as restrições	(2) Medir o desempenho (3) Analisar a causa raiz
Passo 3		(4) Melhorar o processo
Passo 4	(3) Subordinar às restrições	(5) Controlar & manter a melhoria
Passo 5	(4) Elevar as restrições	--
Passo 6	(5) Verificar a próxima restrição	--

Fonte: KASEMSET (2011).

JIN (2009) define a integração através dos passos a seguir:

4.1 Identificando a restrição

Para localizar a restrição, o setor ou a área da indústria deve ser analisado amplamente. A maioria das ferramentas do modelo integrado é usada para encontrar a restrição na empresa, como por exemplo: a Árvore da Realidade Atual, a Árvore da Realidade Futura, o Diagrama de Resolução de Conflitos, e o Mapa de Fluxo de Valor ou Fluxograma do Processo.

4.2 Definir

Aqui começa a abordagem do seis sigma. Define a fase que focará as áreas seguidas pela restrição e também porque o modelo de integração é voltado para orçamentos restritos. Nesta fase há muitas ferramentas que repetem as mesmas informações das ferramentas usadas na identificação da restrição.

4.3 Medir

Esta fase será colocada em prática logo após a restrição, sendo usadas várias ferramentas estatísticas, dependendo da necessidade. Mas é importante primeiramente

escolher a ferramenta de controle de qualidade. Entre as ferramentas mais usadas pode-se citar o Gráfico de Controle de Qualidade, Histograma, Scatter Plot e Gráfico de Pareto.

4.4 Analisar

Neste passo, fatos como movimentos, motivações ou causas são examinadas para se chegar ao problema central do controle de qualidade. Gráficos de Fluxos de Processos descrevem muito bem a área e apontam as variáveis para serem resolvidas. Análise de causa e efeitos (Gráfico de Espinha de Peixe) pode ser usada para organizar o *brainstorm* de idéias na tentativa de encontrar as causas que originam os problemas. A análise do tipo e efeito de falha (do inglês *failure modes and effects analysis* – FMEA), também pode ser usada para medir o *rank* das ocorrências e o grau de severidade. Uma vez que os fatores tenham sido organizados, a Análise de Regressão pode testar uma correlação entre eles e começar a separar características que não sejam relevantes. O uso de técnicas estatísticas, através da comparação com as análises dos dados, pode auxiliar se houve mudanças para melhoras no processo. O mais importante neste passo é que ele tenha uma solução para os problemas que prejudicam os processos e que futuramente será aperfeiçoado.

4.5 Explorar a restrição

Esta fase concentra-se em ampliar a capacidade produtiva do gargalo encontrado. Sua análise dependerá da maneira de como a equipe abordará o problema.

4.6 Subordinar a restrição

Todas as áreas estarão agora seguindo o ritmo da restrição, e evitar o excedente é a meta para este passo. Isso pode ser obtido usando a técnica tambor-pulmão-corda, dependendo do problema encontrado.

A TOC faz uso desta técnica que possibilita a subordinação das atividades que não são consideradas restritivas para que haja um melhor aproveitamento da atividade que é identificada como restrição (MARTINS, 2009).

4.7 Verificação dos dados

Esta parte tem sido adicionada no modelo para checar as melhorias implementadas nos passos anteriores. Uma vez que houve mudanças na restrição, os passos e (medir e 4 (analisar) devem ser revalidados com o objetivo de verificar se os resultados foram satisfatórios.

É importante salientar que não há melhorias sem que antes os dados sejam revalidados, caso contrário essas melhorias poderiam ser baseadas em análises que não estariam mais na realidade da fábrica.

4.8 Melhorar o Projeto

Para o problema de controle de qualidade, recomenda-se o Planejamento de Experimento que é uma ferramenta que pode ser usada para analisar a variabilidade. Pode ser sugerido também um teste T, uma análise de ANOVA, ou um teste Chi-quadrado, entre outros. Mas é preferível utilizar as ferramentas que foram usadas inicialmente na fase de análise e medida dos dados.

Once the CTQ has been improved, top management must decide whether there is enough budget to continue towards another Six Sigma Project, or expand the constraint. The decision must consider what is more important to the company, maybe the constraint does not have much impact on the industry, or other CTQs have little significance. If there is no budget to continue to either one of the choices, the project can move towards the last step and leave both the constraint and CTQs until there is financial solvency to resolve them (JIN 2009, p.553).

Uma vez que o controle de qualidade total (C.T.Q.) foi melhorada, a alta administração deverá decidir se há orçamento suficiente para continuar outro projeto Seis Sigma, ou expandir a restrição. A decisão deve considerar o que é mais importante para a empresa, talvez a restrição não tenha tido muito impacto na indústria, ou a qualidade tenha tido pouco significado. Se não houver orçamento para continuar qualquer uma das escolhas, o projeto pode avançar em direção ao último passo e deixar ambas as restrições e a melhoria da qualidade, até que haja solvência financeira para resolvê-los (JIN 2009, p.553).

4.9 Elevar a restrição

Este passo busca a melhor abordagem para quebrar a restrição e removê-la da área. A solução pode incluir adquirir uma nova máquina, um novo escritório, um processo que permita ou aumente a força de trabalho; pode haver investimento incluso, porém não insista se não houver uma melhoria na resposta. Ferramentas usadas nas etapas anteriores podem ser úteis para verificar se houve a transferência da restrição para outra área.

4.10 Controlar e prestar atenção na inércia

O último passo assegura que melhorias e modificações continuam trabalhando juntas. A equipe deve ter um plano de controle que assegure o sucesso do programa, através da observação das variações, complementado com a ajuda de gráficos e estudos estatísticos. Outro ponto principal é a Manutenção da Qualidade Total, um programa que deve ser criado por área para garantir que ele tenha uma sustentabilidade.

Almeida (2006), reforça a ideia de que é recomendada usar a metodologia DMAIC em um primeiro momento de aplicação do seis sigma, uma vez já identificada a restrição do sistema. Com a aplicação do seis sigma na restrição, espera-se que haja uma redução nos custos e principalmente uma melhora nos ganhos e lucros da organização.

Deve-se dizer que as ferramentas da qualidade que foram utilizadas neste trabalho foram descritas no capítulo 03.

5 Metodologia

Esta seção tem por objetivo mostrar a metodologia e suas abordagens que serão empregadas na pesquisa quanto ao universo pesquisado, a escolha do caso e suas estratégias de coleta e tratamento dos dados.

5.1 A metodologia e suas classificações

5.1.1 Abordagem da pesquisa – qualitativa

Para Bryman (1989) quando se faz uma pesquisa científica, esta pode apresentar características qualitativas ou quantitativas, dependendo do que vem a ser abordado.

Para que uma pesquisa qualitativa se inicie, deve embasar-se em perguntas de interesses amplos e que estejam alinhadas com a evolução do que está estudando com dados que descrevem o seu objeto, podendo ser pessoas, lugares ou diretamente o contato do pesquisador (GODOY, 1995 apud ROMANO, 2009).

O pesquisador deve elaborar perguntas, questionando algo que o direcione para o objeto da sua investigação, conforme Yin (2005), é através da identificação do tipo de questão apresentada que se conseguirá diferenciar as várias estratégias de pesquisa.

A pesquisa qualitativa enfatiza a “essência” do fenômeno. A visão de mundo das pessoas varia de acordo com a percepção de cada um, sendo bastante subjetiva. Os objetivos são, principalmente, a descrição, a compreensão e o significado. O pesquisador não manipula variáveis por meio de tratamentos experimentais, interessa-se pelo processo do que pelo produto (THOMAS 2008, p.298).

Deve-se comentar que a pesquisa qualitativa não é na sua essência totalmente estruturada, admite o uso de algumas ferramentas de quantificação de variáveis a fim de que possa permitir o pesquisador de fazer suas interpretações e análises de dados (BRYMAN, 1989).

Esta pesquisa é de natureza qualitativa uma vez que buscar entender o processo de integração entre as metodologias seis sigma e teoria das restrições em seus aspectos mais gerais como a forma que podem ser utilizadas, quais as restrições para sua integração, quais os meios que podem ser utilizados para que a integração traga benefícios para os processos, enfim, busca entender a essência do processo.

5.1.2 Tipo de pesquisa – exploratória

Segundo (GIL, 1992) as pesquisas científicas podem ser classificadas segundo seus objetivos em pesquisa exploratória, descritiva e explicativa.

A pesquisa com caráter exploratória, segundo Silva e Menezes, (2005) é quando se tem por objetivo dar uma abordagem mais familiar para o problema que está sendo analisado tornando-o mais fácil de ser compreendido; e classificada como pesquisa aplicada, pois gera informações e praticidade para obtenção de respostas para o estudo que está sendo dirigido.

Conforme Yin (2005), para que as evidências encontradas sejam mais facilmente confirmadas, seis fontes de informações são usadas: documentação, registro de arquivos, entrevistas, observações diretas, observação participante e artefatos físicos, e que podem ser melhor aproveitadas desde que sigam os itens abaixo, fazendo com que o estudo de caso tenha uma melhor validação e confiabilidade.

- Uso de diversas fontes que tragam evidências, como exemplo o registro de arquivos e observação participante;
- Ter um banco de dados para o estudo de caso, sendo importante observar de que forma ele é organizado e documentado. Há dois tipos de coletas que se pode ter na fase de documentação:
 1. Os dados ou base comprobatória;
 2. O relatório baseado pelo pesquisador, no formato de artigo, notificações ou livro.
- Manter o encadeamento de evidências, uma vez que reforça a confiança das informações fazendo com que o observador mantenha a sequência das questões, partindo daquelas que originaram as evidências até as questões que irão concluir o estudo de caso.

Como a pesquisa busca esclarecer o processo de integração entre as metodologias citadas e caracteriza-se por ser uma frente científica ainda pouco explorada do ponto de vista aplicado, sua classificação como exploratória é justificada, assim como seu delineamento, que lança mão da operacionalização através do estudo de caso em uma empresa do segmento eletro metalúrgica, especificamente no setor de ventiladores oscilantes .

5.2 Coleta dos dados

A coleta dos dados, na versão de Chizzotti (2005) além de consumir um grande volume de tempo, deve ser feita de maneira cuidadosa, com elaboração de técnicas e instrumentos adequados que consigam reunir as informações que o pesquisador necessita.

Baseando-se no que foi exposto e sendo classificada como uma pesquisa de abordagem predominantemente qualitativa, este trabalho enfoca a análise da integração da teoria das restrições com a metodologia seis sigma, utilizando-se também de análises quantitativas através de suas ferramentas estatísticas, segundo os dizeres de Thomas (2008, p. 305) “a pesquisa qualitativa pode empregar algumas análises quantitativas (...).”

5.3 Estudo de caso único

Por ser exploratória, a pesquisa fez a coleta de dados, para que pudesse aplicar a integração da teoria das restrições com a metodologia do seis sigma usando como estratégia de estudo uma linha de produção para verificar se estabilizando a variabilidade, sendo esta a causa do gargalo encontrado, haveria de fato uma melhora no tempo de produção. Optou-se por fazer o método do estudo de caso único, que acabou sendo o mais apropriado para a investigação e entendimento do objeto da pesquisa.

Há casos em que uma estratégia específica possui vantagem distinta, sendo que no estudo de caso isso acontece através de perguntas do tipo “como” ou “por que” sobre acontecimentos com pouco controle para o pesquisador. Ainda para o autor, como estratégias, essas perguntas levam ao estudo de pesquisas históricas e de experimentos (YIN, 2005).

Na visão de Thomas (2008), o estudo de caso único assume formato de pesquisa descritiva, sendo estudado a fundo, com o objetivo de atingir uma maior compreensão através de casos que tenham características semelhantes.

Quando se faz um estudo de caso único, ocorre a preocupação de que não se poderá generalizar cientificamente por fornecer pouca base, porém tornar-se-á uma pesquisa coerente a partir do momento que, testando uma teoria bem formulada o caso único representará o caso decisivo, podendo ser aproveitado para avaliar se as proposições de uma teoria são válidas ou se há alguma outra explicação que possa ter um caráter de maior relevância (YIN, 2005).

Conforme Silva e Menezes (2005), o quadro 5.1 abaixo sintetiza as classificações e características metodológicas de uma pesquisa científica. A forma de como é abordado este trabalho, está representado nos quadros em destaque.

Quadro 5.1 – Representação da classificação metodológica da pesquisa.

CLASSIFICAÇÃO	CARACTERÍSTICAS			
Natureza	Básica		Aplicada	
Forma de abordar o problema	Qualitativa		Quantitativa	
Objetivos	Exploratória	Descritiva	Explicativa	Normativa
Procedimentos técnicos adotados	Estudo de caso	Levantamento ou survey	Pesquisa experimental	Pesquisa participante
	Pesquisa documental	Pesquisa <i>ex-pos facto</i>	Pesquisa ação	Pesquisa bibliográfica

Fonte: Adaptado de Silva e Menezes (2005).

5.4 Forma de análise dos dados coletados

No que se refere ao estudo de caso, as dissertações são criticadas por apresentarem um mínimo de análises e descrições em excesso (MILES & HUBERMAN apud ROESCH, 1999).

As pesquisas que abordam o estudo de caso devem ter a cautela de se prever contra análises e interpretações errôneas, oriundas de valores profissionais criadas no seu próprio lugar de trabalho, cuja investigação que desenvolve objetiva-se a resolver um problema restrito (MARTINS; LINTZ, 2000, p. 36 apud Flores, 2005, p. 45).

Chizzotti (2005) defende que as análises e interpretações dos dados coletados devem passar por etapas de classificação, compilação dos dados, descrevê-los e analisá-los para que se consiga chegar à hipótese criada no início do problema em questão, seja para confirmá-lo ou mesmo para invalidá-lo.

Todo o trabalho anterior da pesquisa não terá credibilidade, conforme salientado por Yin, (2005, p.87), “se o pesquisador procurar utilizar o estudo de caso apenas para comprovar uma posição preconcebida.” Para o autor, eles devem estar predispostos a entender as indagações do problema antecipadamente, perguntando-se até que ponto estará sujeito às possíveis descobertas contrárias ao que normalmente desejava.

O trabalho da dissertação concentra-se em uma área da empresa, mais precisamente no setor de produção dos motores de oscilantes. A opção por priorizar esta área de estudo é devido à sua importância econômica que representa para a companhia e sendo um setor com alto volume de produção ocasionado por sua demanda, além do acesso facilitado do

pesquisador. Por ser um setor que carece de análises qualitativas e quantitativas que tragam contribuições para a linha de produção, verificou-se a oportunidade de ser estabelecido uma relação com as questões e objetivos de interesse do tema da pesquisa.

Através da coleta de dados, foi mapeado todos os tempos de produção das etapas dos processos dos motores oscilantes, e constatou-se que o processo “tipo mesa”, foi considerado como o que possui o maior tempo de produtividade e também uma das maiores variações, tornando-se um desafio para o pesquisador achar um gargalo para o fluxo de seu processo e a partir daí tentar estabilizar a sua variabilidade para que possa verificar quais resultados obterá para sua nova média de tempo de produtividade.

A intenção deste trabalho é que ele sirva de base bibliográfica para que outras pesquisas avancem e direcionem-se para a melhoria dos processos de suas empresas ou setores que possam ter seus gargalos gerados por algum tipo de variabilidade e não apenas por uma limitação de capacidade de processo. Há de se reconhecer que ainda são poucos os trabalhos relacionados com a integração dessas duas metodologias no Brasil.

6 Descrição da empresa e integração das metodologias: toc & seis sigma

Para a descrição da empresa que tem suas atividades de produção totalmente voltadas ao setor de eletro metalúrgico, será mantido o sigilo do nome.

A empresa, com sede no interior do estado de São Paulo, nasceu no final dos anos 70, começando de uma maneira modesta no “fundo de quintal”, produzindo artesanalmente apenas ventiladores.

Com o crescimento das vendas, a empresa já no final dos anos 80 possuía cerca de 10 colaboradores e contava com uma produção de cerca de mil ventiladores por mês.

Atualmente, com um parque industrial moderno, a fábrica trabalha com aproximadamente 350 funcionários e no verão, chega a ter 700 pessoas trabalhando direta e indiretamente.

Seus produtos são considerados hoje os modelos mais modernos no segmento de ventiladores, conferindo destaque nos âmbitos nacionais e internacionais, com vendas em todo o território nacional; além de ser uma empresa exportadora da região, possui certificação NBR ISO 9001, além de diversos produtos receberem o selo PROCEL, que garante a eficiência energética com alto desempenho.

Conforme figura 6.1, suas linhas de produtos são: ventiladores de teto, ventiladores oscilantes, extratores, exaustores, aquecedores e bebedouros.

Figura 6.1 – Linhas de produtos.



Fonte: próprio autor.

6.1 O Processo de Produção

A empresa fabrica todas as peças de que necessita, terceirizando algumas etapas quando em períodos de pico de demanda. O período do verão é o que apresenta a maior demanda e no qual a empresa opta por terceirizar outras etapas como forma de elevar a sua capacidade de produção, além da contratação direta de funcionários temporários que se encontram em um banco de dados já designado, elevando o número de colaboradores de 350 para cerca de 700.

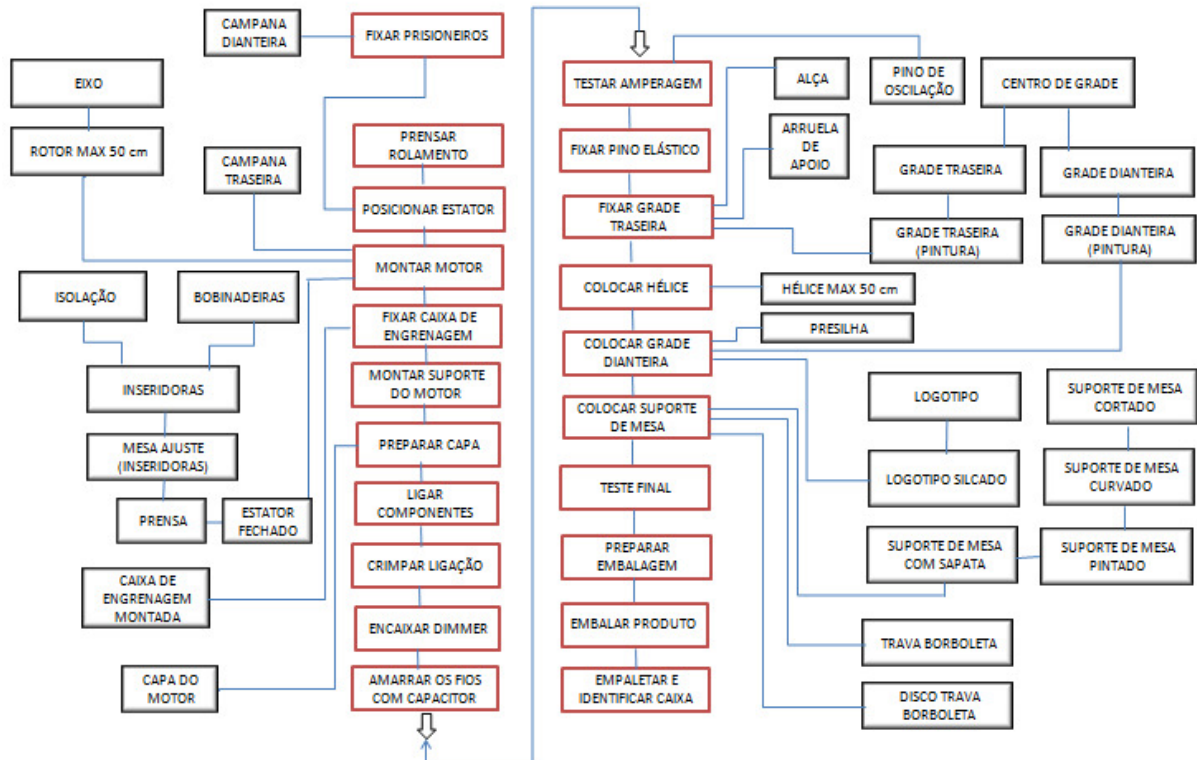
Não se constatou restrição política na empresa. Seus dirigentes apoiam e incentivam os seus funcionários para que busquem constantemente o aprimoramento técnico e profissional, mostrando que a empresa preza pelo avanço no conhecimento, trazendo soluções inovadoras e eficientes, refletindo em melhorias na produtividade e na qualidade de seus produtos. Essa busca pela excelência da qualidade é um assunto levado muito a sério na empresa. Comenta um dos diretores “a determinação, o esforço e a busca pela qualidade fizeram desta uma grande empresa, que em 2005 recebeu a certificação NBR 9001. Essa certificação foi uma conquista essencial, foi o começo de uma profissionalização da empresa”.

Ousadia com muito comprometimento, aliado à inovação e modernização diga-se que são características de seus diretores que levam a empresa a uma posição de destaque no mercado de ventiladores perante a concorrência.

O gerente de produção mostra que atualmente a fábrica tem as suas vendas sustentadas principalmente pelos ventiladores oscilantes, sendo que estes são divididos em três modelos, a saber: modelo tipo parede, modelo tipo coluna e modelo tipo mesa. Reforça ainda que a linha modelo tipo mesa oscilante que possui hélice de tamanho 50 cm, é a maior linha de produção dentre as três citadas anteriormente, com 52 processos e que também é a que possui o maior lead time entre os mais variados mix de produtos que fabrica, como os ventiladores de teto, exaustores, extratores, aquecedores, bebedouros e os próprios ventiladores oscilantes.

A figura 6.2 mostra todas as operações, destacando-se a linha de montagem do modelo mesa oscilante – 50 cm

Figura 6.2 – Mapa das operações da linha de montagem de mesa oscilante - 50 cm



Fonte: Dados fornecidos pela empresa

6.2 A integração da toc & seis sigma

O quadro 6.1, mostra o processo de integração da toc & seis sigma, que segue os passos descritos conforme KASEMSET (2011), para a melhoria contínua:

Quadro 6.1 – O sistema integrado entre seis sigma e toc.

Sistema Integrado	TOC (Passos)	Seis Sigma (Passos)
Passo 1	(1) Identificar as restrições	(1) Definir necessidades & projetos
Passo 2	(2) Explorar as restrições	(2) Medir o desempenho (3) Analisar a causa raiz
Passo 3		(4) Melhorar o processo
Passo 4	(3) Subordinar às restrições	(5) Controlar & manter a melhoria
Passo 5	(4) Elevar as restrições	--
Passo 6	(5) Verificar a próxima restrição	--

Fonte: KASEMSET (2011).

6.2.1 Identificar as restrições

Para a execução deste primeiro passo, foram definidos e identificados, todos os processos que compõem a linha de montagem dos ventiladores oscilantes de mesa, que se destacam em volume de vendas, dentre todo o mix de produtos. Pelo fato da empresa ter o conhecimento que há uma demanda crescente em condições de absorver uma quantidade maior desses produtos, verifica-se a necessidade de terem projetos que estejam voltados para melhorias e aumento da capacidade de produção.

A tabela 6.1, mostra os dados de produção, tanto dados referentes ao ciclo de produção da máquina como a média de produção horária dos últimos 12 meses, por operação de oscilantes Max mesa 50 cm. A capacidade produtiva das operações, consultados também no departamento de PCP da empresa, foram checados e convertidos em peças/horas, uma vez que a empresa trabalha em regime constante de 3 turnos, com os devidos descansos diários, totalizando em 22 horas por dia e 6 dias por semana, ficando parada apenas aos domingos.

Tabela 6.1 – Montagem de oscilantes – Max Mesa 50 cm.

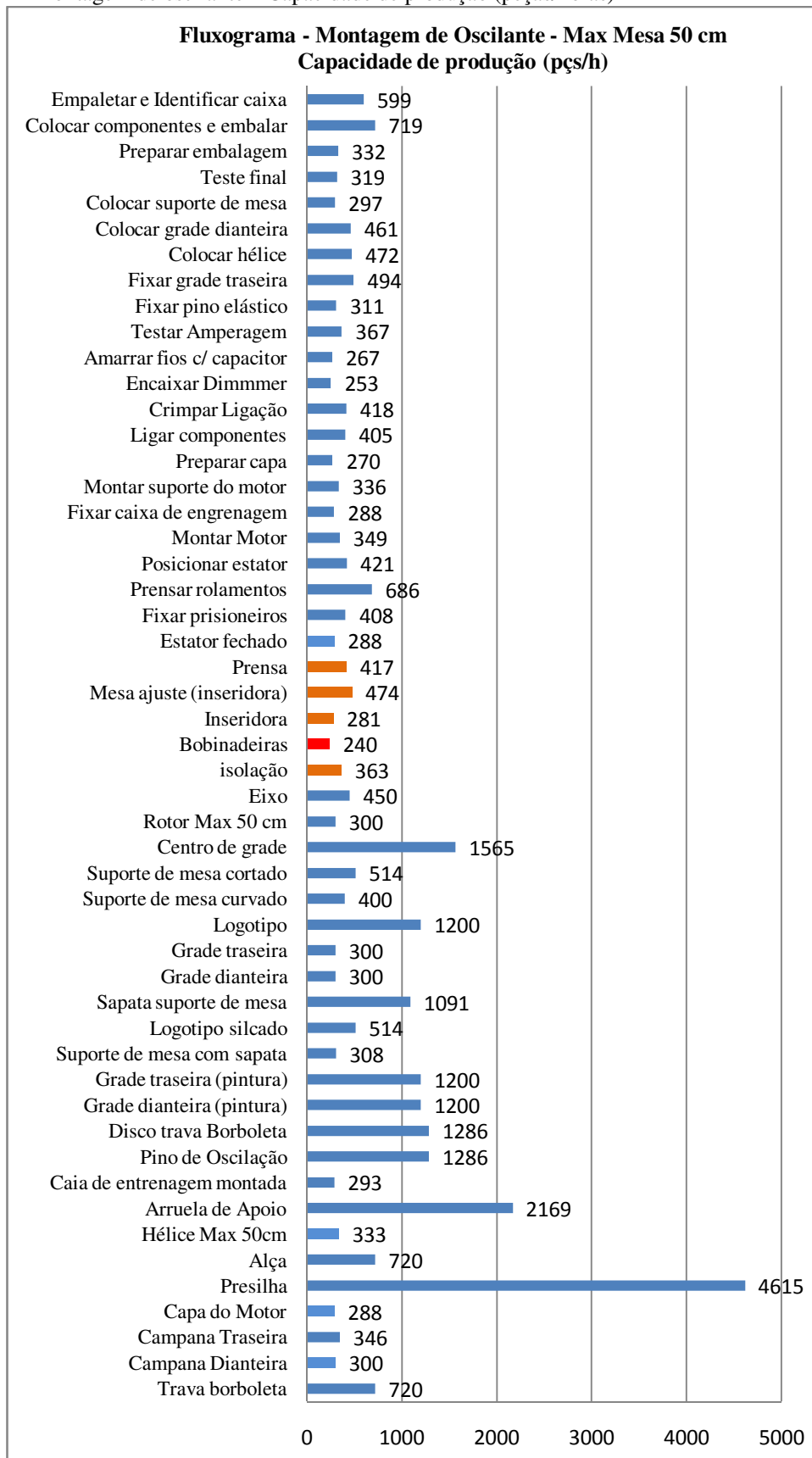
MONTAGEM DE OSCILANTE - MAX MESA 50 cm				
	Operações	Tempo médio por segundo	Capacidade (pçs/h)	Produção horária média
Injetora	Trava borboleta	5	720	719,02
	Campana Dianteira	12	300	299,51
	Campana Traseira	10,4	346	345,61
	Capa do Motor	12,5	288	287,67
	Presilha	0,78	4615	4597,90
	Alça	5	720	719,60
	Hélice Max 50cm	43,2	333	332,71
	Arruela de Apoio	1,66	2169	2169
	Caia de treinamento montada	12,3	293	292,50
	Pino de Oscilação	2,8	1286	1284,91
	Disco trava Borboleta	2,8	1286	1284,50
	Pintura	Grade dianteira (pintura)	3	1200
Grade traseira (pintura)		3	1200	1200
Suporte de mesa com sapata		11,7	308	308
Montagem	Logotipo silcado	7	514	514,04
Injetora	Sapata suporte de mesa	3,3	1091	1090,23
Grade	Grade dianteira	12	300	299,90
Grade	Grade traseira	12	300	299,90
Injetora	Logotipo	3	1200	1198,11
Solda	Suporte de mesa curvado	9	400	399,87
Usinagem	Suporte de mesa cortado	7	514	514
Estamparia	Centro de grade	2,3	1565	1563,74
Fundição	Rotor Max 50 cm	12	300	299,90
Usinagem	Eixo	8	450	449,79
Bobinagem	isolação	9,92	363	362,68
	Bobinadeiras	120	240	239,45
	Inseridora	25,61	281	281,05
	Mesa ajuste (inseridora)	7,6	474	474
	Prensa	8,63	417	417
Fechar Motor	Estator fechado	12,5	288	287,91
Linha de Montagem de Mesa	Fixar prisioneiros	8,83	408	407,51
	Pressar rolamentos	5,25	686	685,49
	Posicionar estator	8,55	421	421
	Montar Motor	10,31	349	348,94
	Fixar caixa de engrenagem	25,01	288	288
	Montar suporte do motor	21,43	336	336
	Preparar capa	13,32	270	270

Ligar componentes	26,66	405	405
Crimpar Ligação	17,23	418	417,74
Encaixar Dimmer	14,22	253	253
Amarrar fios c/ capacitor	27	267	267
Testar Amperagem	29,39	367	367
Fixar pino elástico	11,59	311	310,47
Fixar grade traseira	14,58	494	494
Colocar hélice	7,63	472	472
Colocar grade dianteira	31,24	461	461
Colocar suporte de mesa	24,21	297	297
Teste final	22,6	319	319
Preparar embalagem	10,85	332	332
Colocar componentes e embalar	15,02	719	718,70
Empaquetar e Identificar caixa	12,02	599	599

Fonte: Dados fornecidos pela empresa

Conforme mostra o gráfico 6.1, nos processos de montagem de oscilante, o gargalo aparece no setor de bobinagem de estatores (motores), localizada em uma sala climatizada para prevenir o aquecimento dos motores das suas 8 bobinadeiras responsáveis por bobinar (enrolar) os fios dos motores.

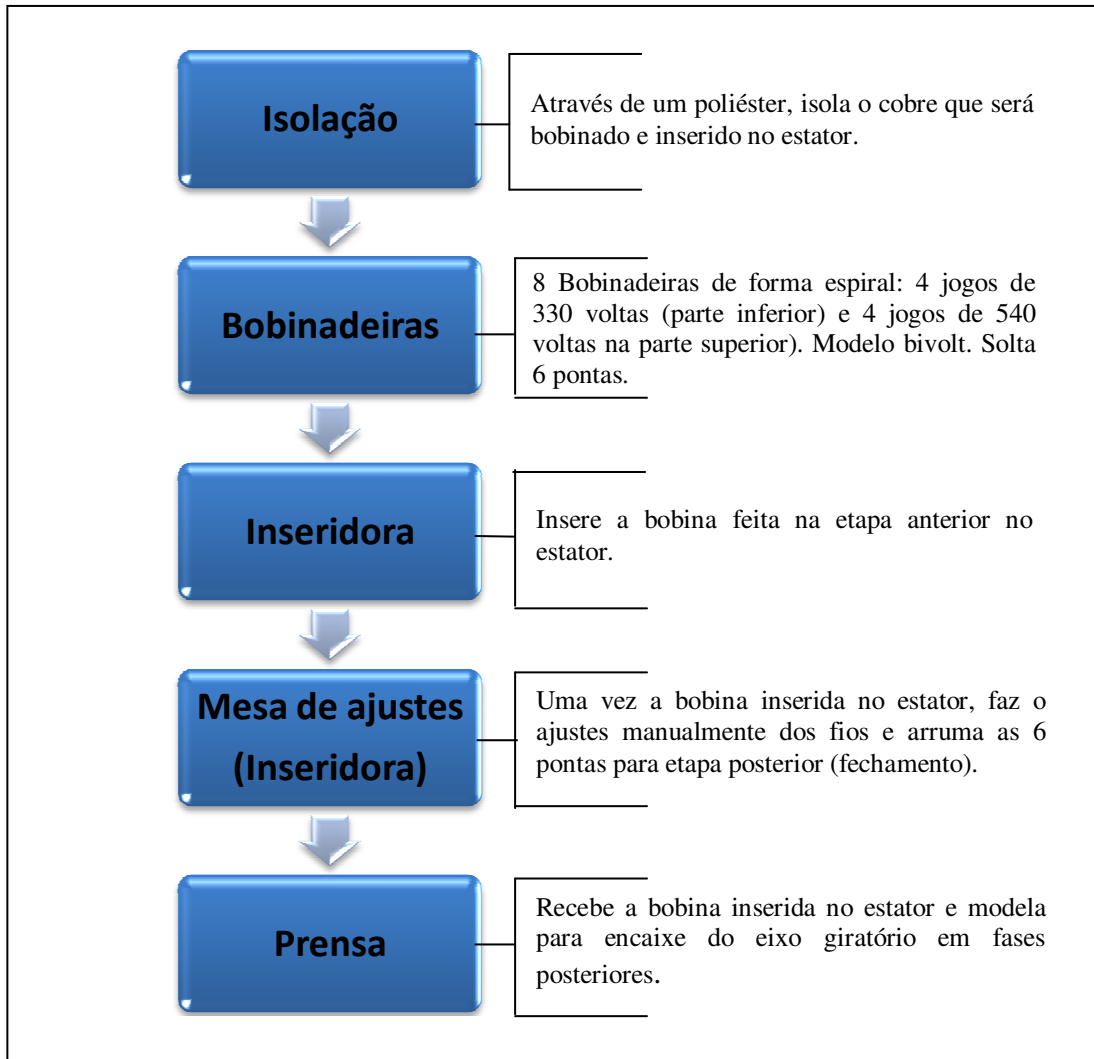
Gráfico 6.1 – Montagem de oscilante – Capacidade de produção (peças/horas)



Fonte: Dados colhidos pelo autor.

A figura 6.3, mostra a sequência na sala de bobinagem de estatores, composta de cinco operações, sendo eles nessa ordem: uma máquina de isolamento, oito bobinadeiras, duas inseridoras, duas mesas de ajustes e uma prensa.

Figura 6.3 – Sequência das operações da sala de bobinagem de estatores.



Fonte: Próprio autor

6.2.2 Explorar as restrições

Seguindo o sistema integrado, o segundo passo diz respeito à exploração da restrição através da medição de seu desempenho, e para isso foi verificado a sua variabilidade e capacidade.

A tabela 6.2 mostra tempos de produção dos cinco processo da sala de bobinagem de estatores. Esta sala é composta de 8 bobinadeiras, sendo 4 caracterizadas como antigas em função de sua vida útil, e 4 bobinadeiras novas. Na figura 6.4 de valores individuais e na figura 6.5 Box plot, verifica-se em um primeiro momento a variabilidade dos processos no

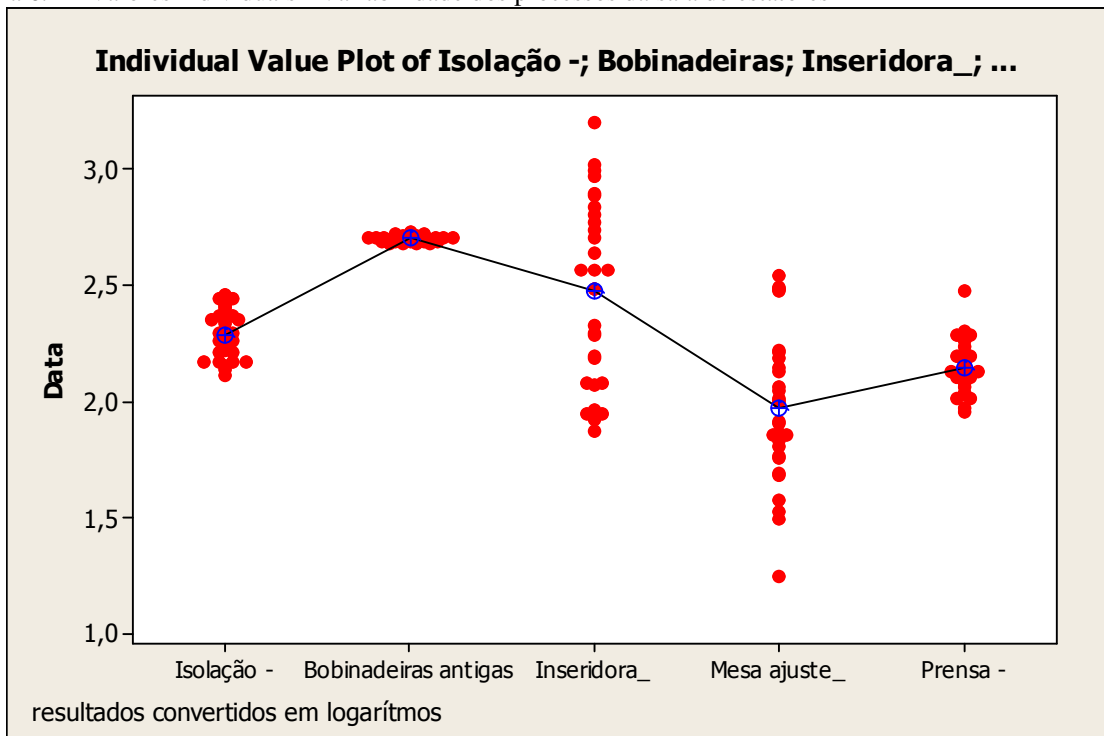
grupo que possuem as máquinas mais antigas. Neste primeiro cenário constata-se uma alta variabilidade no processo da inseridora, porém destaca-se uma maior média de tempo por operação nos processos das bobinadeiras, possuindo essas pouca variabilidade. Deve-se dizer que os dados foram convertidos em escala logarítmica para uma maior aderência estatística no que diz respeito à sua característica de normalidade.

Tabela 6.2 – Tempo de produção dos cinco processos.

<i>Isolação</i>	<i>bobinadeiras antigas</i>	<i>Inseridora</i>	<i>Mesa de ajuste</i>	<i>Prensa</i>
10,5	15,25	9	7,5	8,4
9,2	15,00	20,5	3,5	8
10	14,75	9,8	12	9,4
9,3	15,00	15	9	9,7
9,9	15,00	19,5	5,85	8,7
9,1	15,00	8	4,85	9,1
10,7	15,00	7	4,6	7,2
10,5	15,38	16	4,5	8,2
9,9	15,25	20	5,5	7,6
8,8	15,13	7	6,8	8,2
9,6	15,25	12	11,95	7,1
10,3	15,13	8	5,8	8,4
9,5	15,00	8	9,25	8,3
8,8	15,00	12	7,35	9,8
9,1	14,63	16,5	12,1	8,3
8,8	14,63	10	6,45	11,9
10,5	14,75	18	6,4	9
10,6	14,63	6,85	7,9	7,7
9,6	14,75	9	9,15	8,6
8,3	14,75	18,1	7,45	9,8
8,6	14,75	17,15	7,75	10
10,7	14,63	10,25	6,4	9,6
11,5	15,00	14	6,1	7,5
11,1	15,00	13	5,45	8,1
8,8	15,00	6,5	6,75	8,9
11,2	14,88	13	8,55	7,9
11	14,88	13	12,75	8,5
11,7	14,88	15,5	11,85	9
11,5	15,00	20,5	8,4	7,5
8,5	14,88	7,15	6,25	8,4

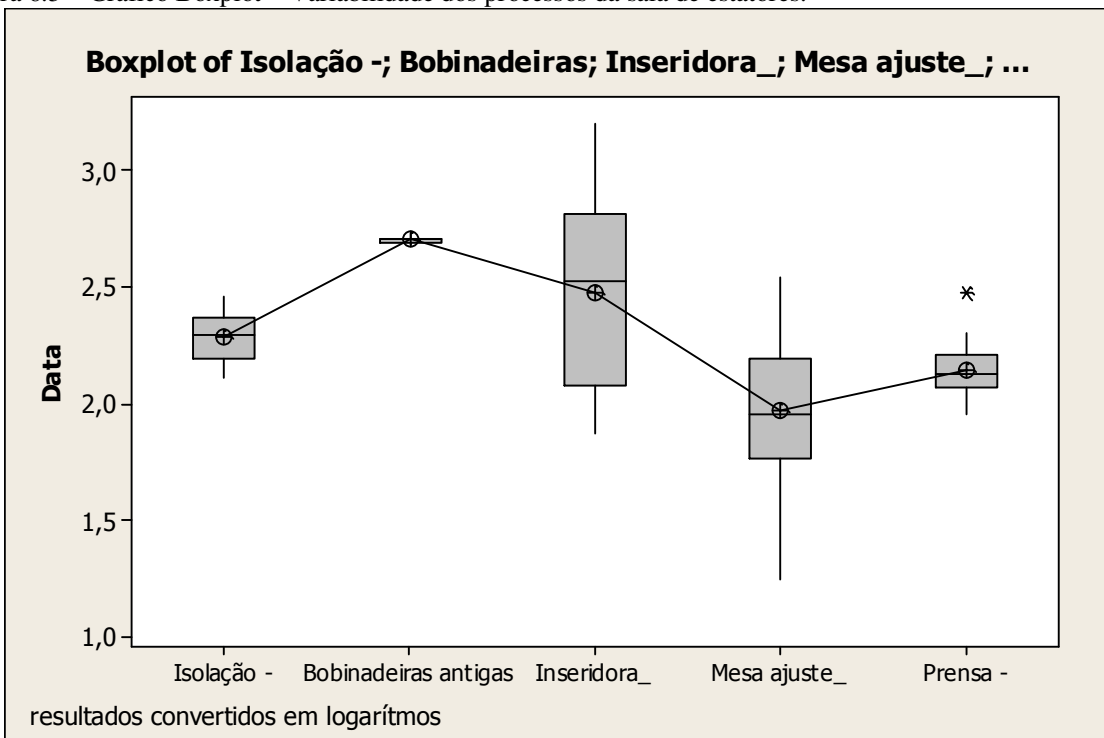
Fonte: Próprio Autor

Figura 6.4 – Valores individuais - Variabilidade dos processos da sala de estatores



Fonte: Próprio Autor.

Figura 6.5 – Gráfico Boxplot – Variabilidade dos processos da sala de estatores.

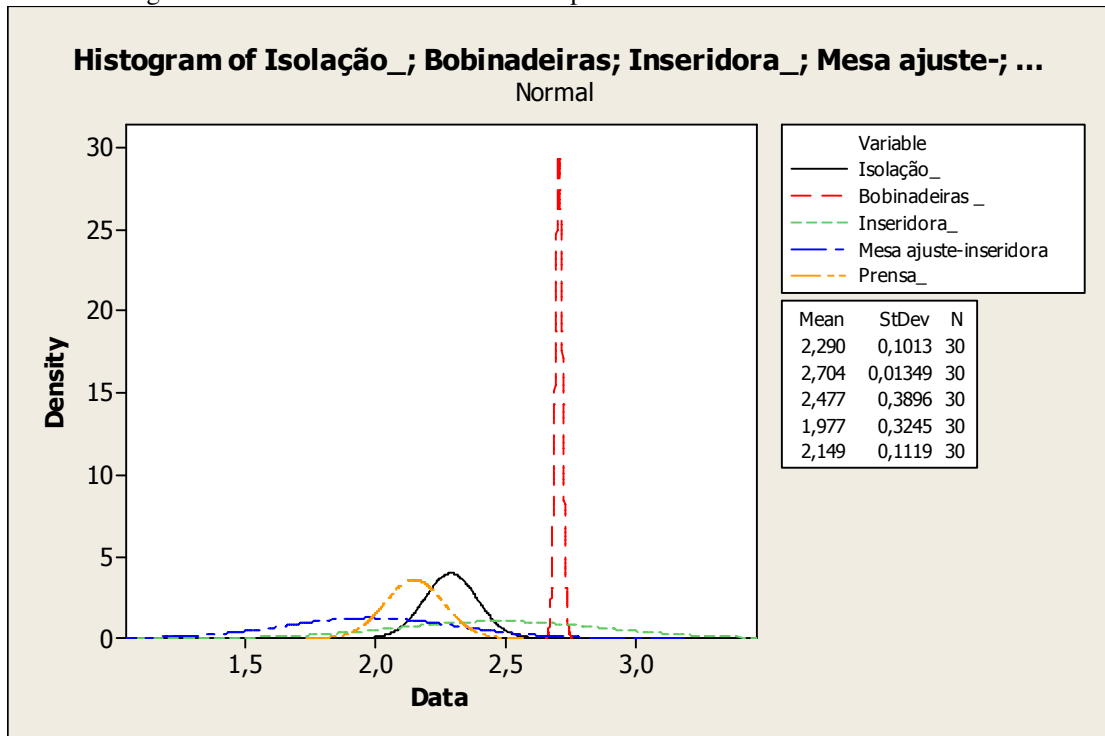


Fonte: Próprio Autor.

Na figura 6.6, o histograma mostra as medias e os desvios padrões das respectivas operações, enfatizando a variabilidade do processo das inseridoras (0,3896) e o alto tempo dos

processos das bobinadeiras (2,704). Lembrando que os dados encontram-se convertidos em escala logarítmica, conforme dito anteriormente.

Figura 6.6 – Histograma das normais – Variabilidade dos processos da sala de estatores.

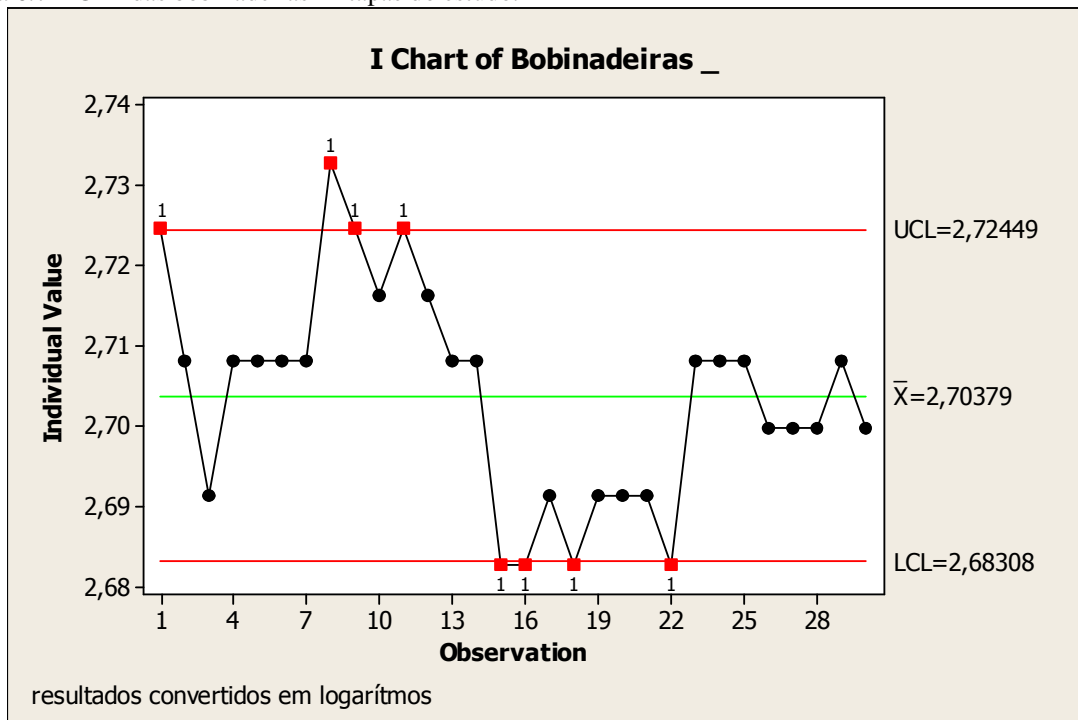


Fonte: Próprio Autor

Essa alta variabilidade no processo da inseridora, logo subsequente a operação considerada gargalo, despertou o interesse por conhecer melhor essa etapa da fabricação. A observação in loco e a coleta sistemática de dados com a líder do setor da sala de estatores, apontou para as prováveis causas deste comportamento. Constatou-se que as bobinadeiras, enrolam seus processos passando-os com baixa qualidade para as inseridoras, que por sua vez tem o retrabalho que acaba por comprometer o seu tempo de produção. A hipótese levantada foi a falta de um programa de manutenção das bobinadeiras, principalmente as mais antigas.

A investigação da variabilidade do processo das bobinadeiras antigas bem como a sua capacidade real, que mede a centralização do procedimento são apresentados na figura, 6.7 de controle estatístico de processo (CEP) e figura 6.8 de capacidade, respectivamente.

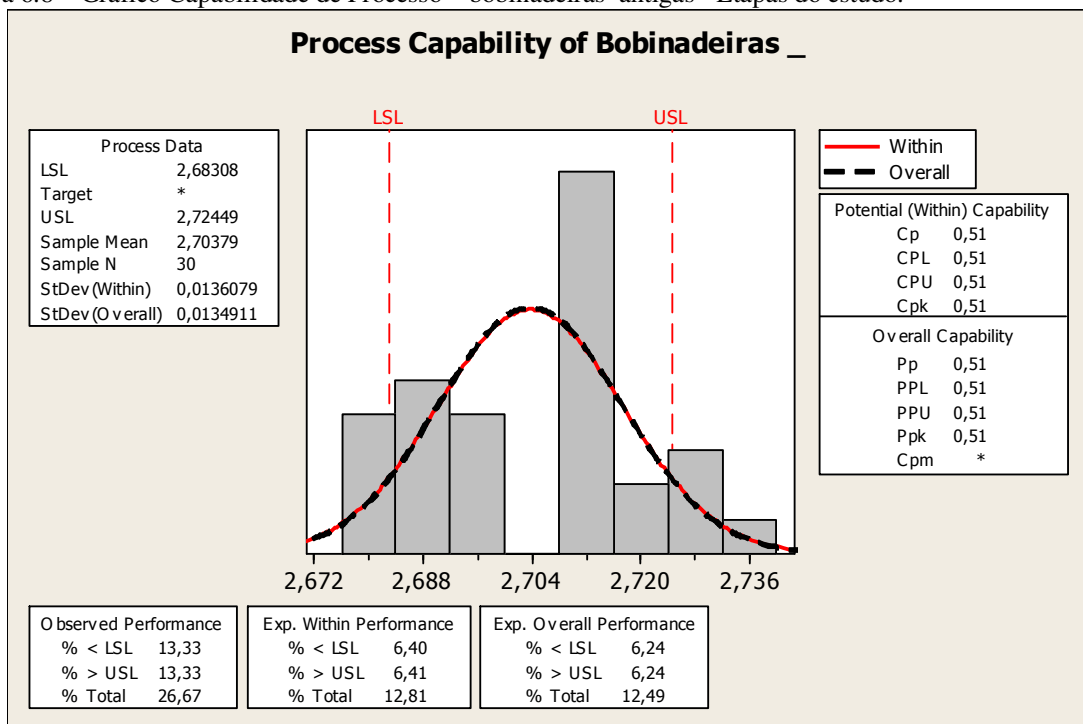
Figura 6.7 – CEP das bobinadeiras - Etapas do estudo.



Fonte: Próprio Autor.

Apesar da pouca variabilidade aparente verificada em um primeiro momento, observa-se que as bobinadeiras antigas, através de uma verificação mais minuciosa, possuem em seus processos uma variabilidade de tempo de produção que desperta a atenção.

Figura 6.8 – Gráfico Capabilidade de Processo – bobinadeiras antigas - Etapas do estudo.



Fonte: Próprio Autor.

Para a capacidade real de processo, adota-se em resumo os seguintes parâmetros: inadequada, quando o $Cpk < 1,0$; adequada quando $1,0 \leq Cpk \leq 1,33$.

De acordo com a figura 6.8, observa-se que o processo encontra-se em um parâmetro inadequado ($Cpk = 0,51$), adotando os limites inferiores e superiores de controle estatístico obtidos da figura 6.7, uma vez que a empresa não tem um parâmetro adotado como meta.

Em conversa com a líder deste setor, foi esclarecido que as bobinadeiras paravam por quebras ou pequenos defeitos e que os chamados por manutenção por problemas técnicos eram constantes. Isso, conduzia a falhas no processo de enrolamento, e com uma qualidade não adequada, ocasionava consequências diretas para a operação seguinte (inseridoras).

A líder do setor falou que a empresa possuía um controle dos chamados de manutenção e isso fez com que a pesquisa se voltasse para o levantamento desses dados para que pudesse ser analisada a frequência com que ocorriam.

Isso levou a constatação de que as bobinadeiras precisavam de um programa de manutenção mais aprimorado, de caráter preventivo e não corretivo, como estava sendo caracterizado. A empresa tem pessoal próprio para a manutenção das bobinadeiras e anota a abertura de chamados de consertos desde que ultrapassem o tempo de duração de 10 minutos. Pequenas quebras ou ajustes são feitos pelos próprios operários que a manuseiam não sendo necessária a abertura de chamados de consertos.

A tabela 6.3 mostra o período compreendido entre janeiro de 2011 a setembro de 2012, referente aos chamados de manutenção das bobinadeiras, fornecendo também a média que cada bobinadeira ficou parada no mês (total de horas de manutenção por mês dividido por 8 bobinadeiras) e na última coluna oferece o quando cada uma funcionaria por mês se não houvesse nenhum chamado de manutenção (adotando-se: 22h de trabalho diário x 6 dias da semana x 4 semanas no mês).

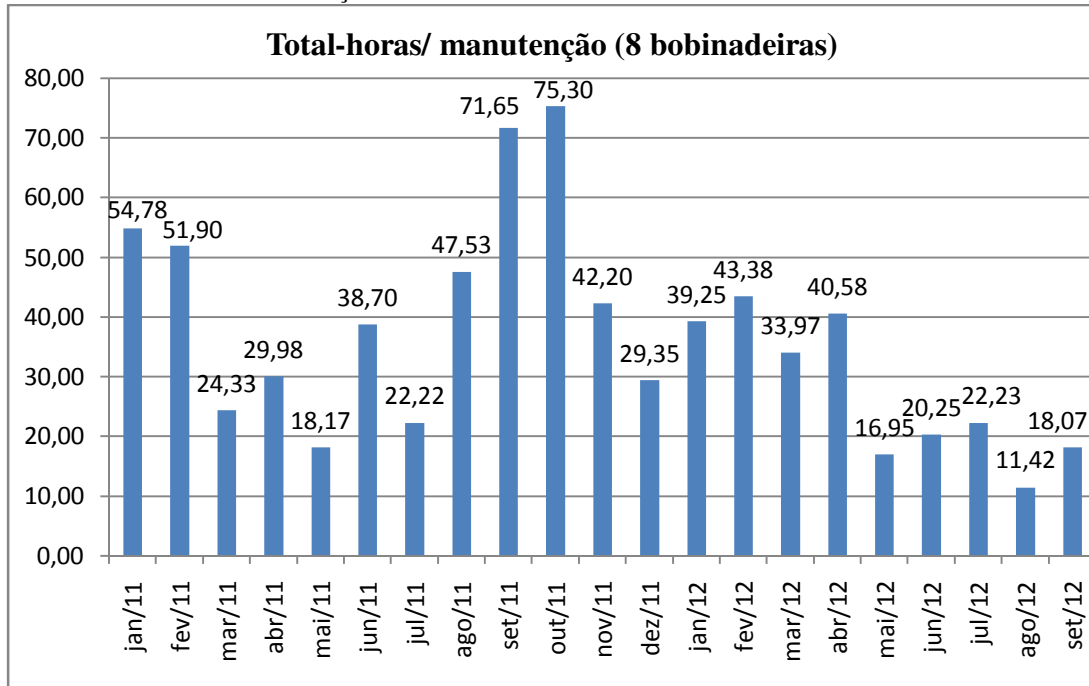
No gráfico 6.2, observa-se melhor que no período levantado para estudos, a maior incidência de chamada de manutenção das bobinadeiras aconteceu no mês de outubro de 2011, devido ao fato de ser um período onde trabalham na sua capacidade máxima.

Tabela 6.3 – Chamados de manutenção das bobinadeiras.

Meses	Total-horas/ manutenção (8 bobinadeiras)	Média (h) cada bobinadeira parada/mês	Horas de funcionamento cada bobinadeira/mês
jan/11	54,78	6,85	528
fev/11	51,90	6,49	528
mar/11	24,33	3,04	528
abr/11	29,98	3,75	528
mai/11	18,17	2,27	528
jun/11	38,70	4,84	528
jul/11	22,22	2,78	528
ago/11	47,53	5,94	528
set/11	71,65	8,96	528
out/11	75,3	9,41	528
nov/11	42,20	5,28	528
dez/11	29,35	3,67	528
jan/12	39,25	4,91	528
fev/12	43,38	5,42	528
mar/12	33,97	4,25	528
abr/12	40,58	5,07	528
mai/12	16,95	2,12	528
jun/12	20,25	2,53	528
jul/12	22,23	2,78	528
ago/12	11,42	1,43	528
set/12	18,07	2,26	528

Fonte: Próprio Autor.

Gráfico 6.2 – Chamados de manutenção das bobinadeiras – horas/mês.



Fonte: Dados fornecidos pela empresa.

Na tabela 6.4, mostra que, no mês de outubro, sendo o período de maior incidência de chamados, as quatro bobinadeiras mais antigas correspondem ao acumulado de 70,85% do tempo parado com manutenção, enquanto que as bobinadeiras mais novas respondem apenas pelos 29,15% do tempo total de quebras. Lembrando ainda que as paradas abaixo de 10 minutos não são computadas pela empresa e por isso não aparecem nos cálculos. A tabela 6.5 oferece os tempos de produção das duas inseridoras, sendo que uma recebia o processo anterior das bobinadeiras antigas e a outra das bobinadeiras novas.

Tabela 6.4 – Chamados de manutenção das bobinadeiras – mês de outubro/2011.

Mês outubro/2011				
	Bobinadeiras	tempo total parada (h)	porcentagem	acumulada
antiga	EQF - 194	23	30,63%	30,63%
antiga	EQF - 199	15,62	20,74%	51,37%
antiga	EQF - 198	3,33	4,43%	55,80%
antiga	EQF - 200	11,33	15,05%	70,85%
nova	EQF - 337	6,83	9,07%	79,92%
nova	EQF - 299	4,42	5,87%	85,79%
nova	EQF - 338	4,58	6,09%	91,88%
nova	EQF - 336	6,12	8,12%	100,00%
	Total	75,30		

Dados fornecidos pela empresa.

Tabela 6.5 – Tempo de produção das inseridoras – mês de outubro/2011.

Bobinadeiras antigas	Bobinadeiras novas
<i>Inseridora (operação/segundos)</i>	<i>Inseridora (operação/segundos)</i>
9	7,5
20,5	7,5
9,8	7,5
15	6,5
19,5	9,5
8	4,5
7	5,5
16	7,5
20	6
7	6,5
12	7
8	15
8	7,5
12	5,5
16,5	6
10	6
18	7
6,85	6
9	6
18,1	8,5
17,15	5
10,25	7
14	8,5
13	5,5
6,5	6
13	7,5
13	6,5
15,5	7
20,5	5,5
7,15	6

Dados fornecidos pela empresa.

6.2.3 Subordinar as restrições

De acordo com a integração do sistema, uma vez o gargalo controlado e melhorado, conforme o cenário das bobinadeiras novas, o terceiro passo leva à subordinação dos demais processos a este gargalo, sempre fazendo melhorias e controlando-o para que não volte à sua etapa inicial.

Nesta fase, foi proposta a empresa, o desenvolvimento de um programa de manutenção preventiva, em função das constatações com o objetivo de reverter o cenário atual que é de correção.

Na tabela 6.6 mostra os tempos das bobinadeiras novas, que é considerado um cenário mais adequado para o setor.

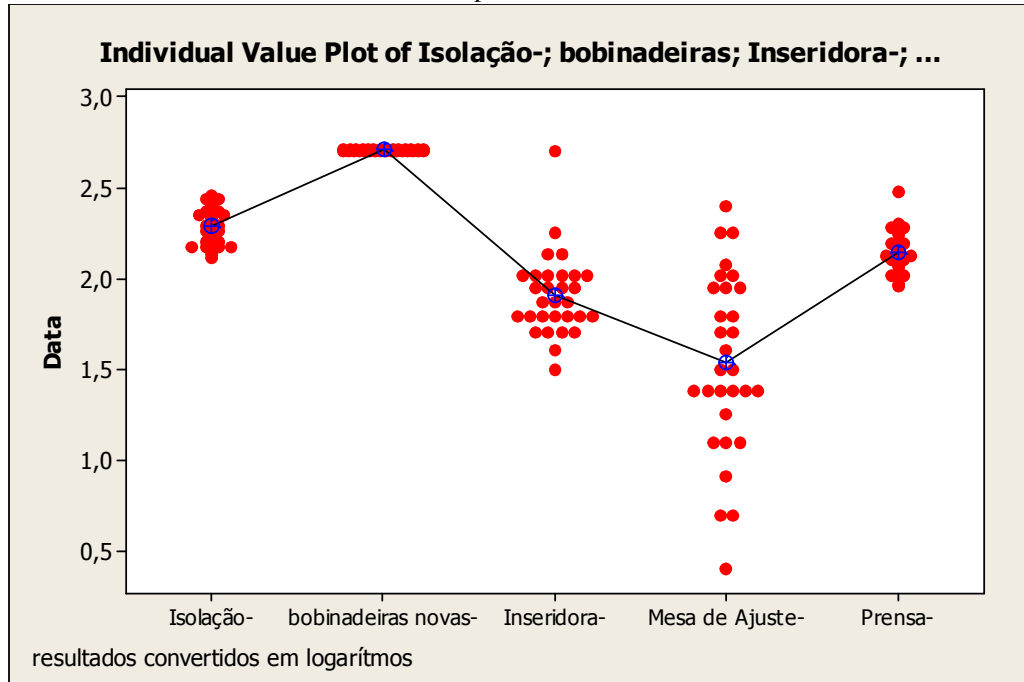
Tabela 6.6 – Tempo de produção dos cinco processos.

<i>Isolação</i>	<i>bobinadeiras novas</i>	<i>Inseridora</i>	<i>Mesa de Ajuste</i>	<i>Prensa</i>
10,5	15,13	7,5	4,00	8,4
9,2	15,13	7,5	4,00	8
10	15,13	7,5	2,00	9,4
9,3	15,13	6,5	2,50	9,7
9,9	15,13	9,5	7,50	8,7
9,1	15,13	4,5	4,00	9,1
10,7	15,13	5,5	2,00	7,2
10,5	15,00	7,5	4,00	8,2
9,9	15,00	6	3,00	7,6
8,8	15,00	6,5	4,00	8,2
9,6	15,00	7	5,50	7,1
10,3	15,00	15	4,50	8,4
9,5	15,00	7,5	7,00	8,3
8,8	15,00	5,5	3,50	9,8
9,1	15,00	6	9,50	8,3
8,8	15,00	6	7,50	11,9
10,5	15,00	7	1,50	9
10,6	15,00	6	5,00	7,7
9,6	15,00	6	4,00	8,6
8,3	15,00	8,5	3,00	9,8
8,6	15,00	5	9,50	10
10,7	15,00	7	7,00	9,6
11,5	15,00	8,5	11,00	7,5
11,1	15,13	5,5	3,00	8,1
8,8	15,13	6	6,00	8,9
11,2	15,13	7,5	8,00	7,9
11	15,13	6,5	5,50	8,5
11,7	15,13	7	6,00	9
11,5	15,13	5,5	7,00	7,5
8,5	15,13	6	4,50	8,4

Fonte: Próprio autor.

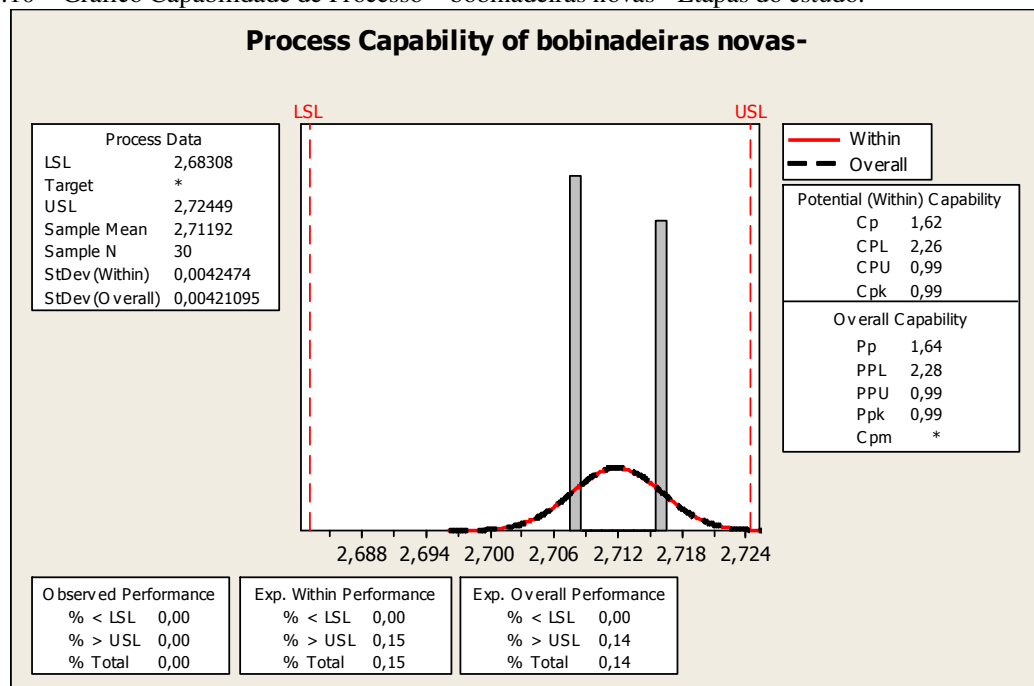
Comparando as figuras 6.4 e 6.5 com as figuras 6.9 de valores individuais e figura 6.11 Box plot, há uma discreta diminuição na variabilidade das bobinadeiras mais novas, em contrapartida teve uma forte influência na queda na variabilidade do processo seguinte (inseridora). Mantendo-se os limites inferiores e superiores, verificamos na figura 6.10, um $Cpk = 0,99$, bem próximo aos limites de adequação do processo.

Figura 6.9 – Valores individuais - Variabilidade dos processos da sala de estatores



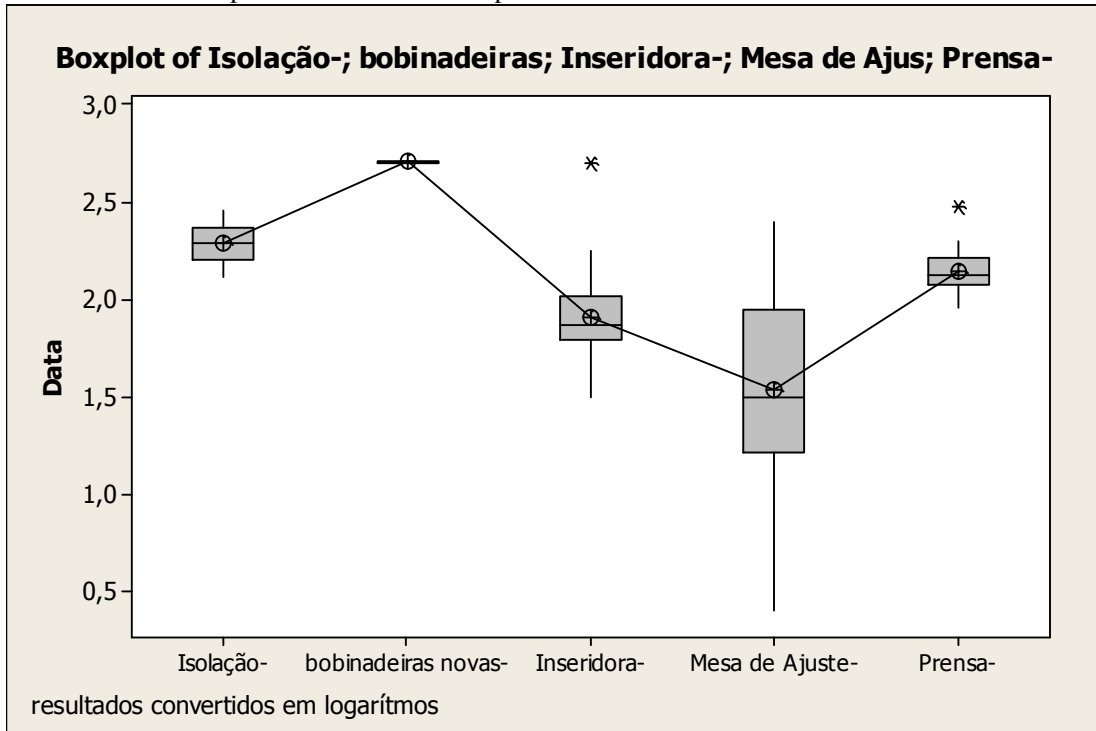
Fonte: Próprio Autor.

Figura 6.10 – Gráfico Capabilidade de Processo – bobinadeiras novas - Etapas do estudo.



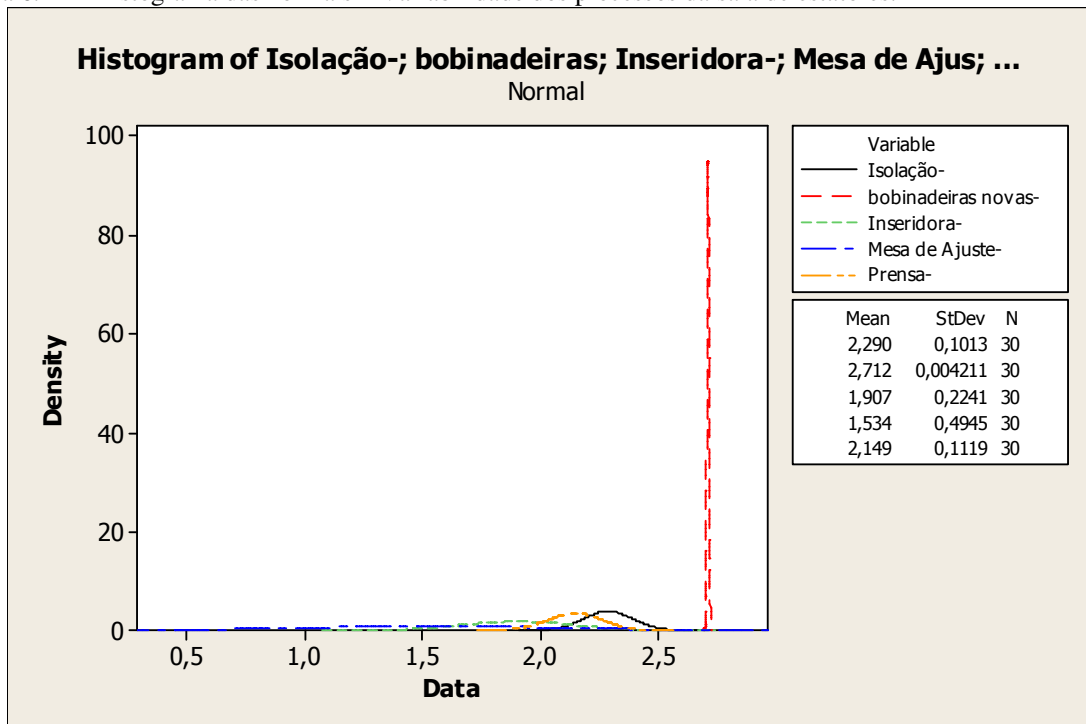
Fonte: Próprio Autor.

Figura 6.11 – Gráfico Boxplot – Variabilidade dos processos da sala de estatores.



Fonte: Próprio Autor.

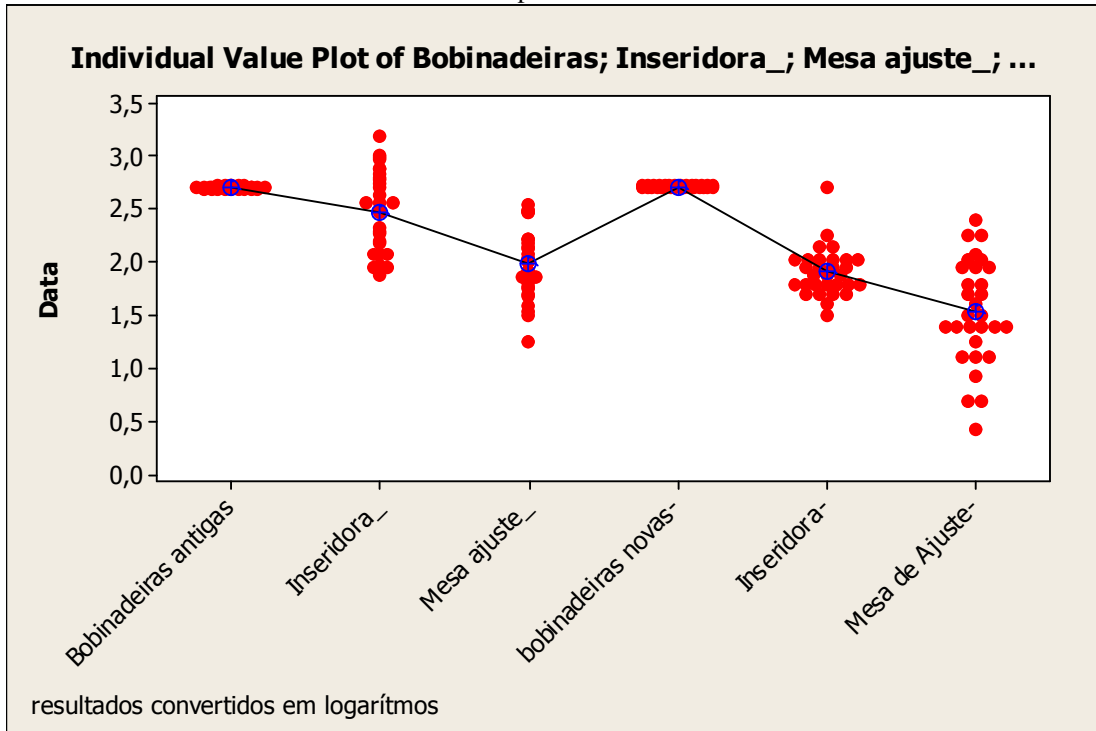
Figura 6.12 – Histograma das normais – Variabilidade dos processos da sala de estatores.



Fonte: Próprio Autor

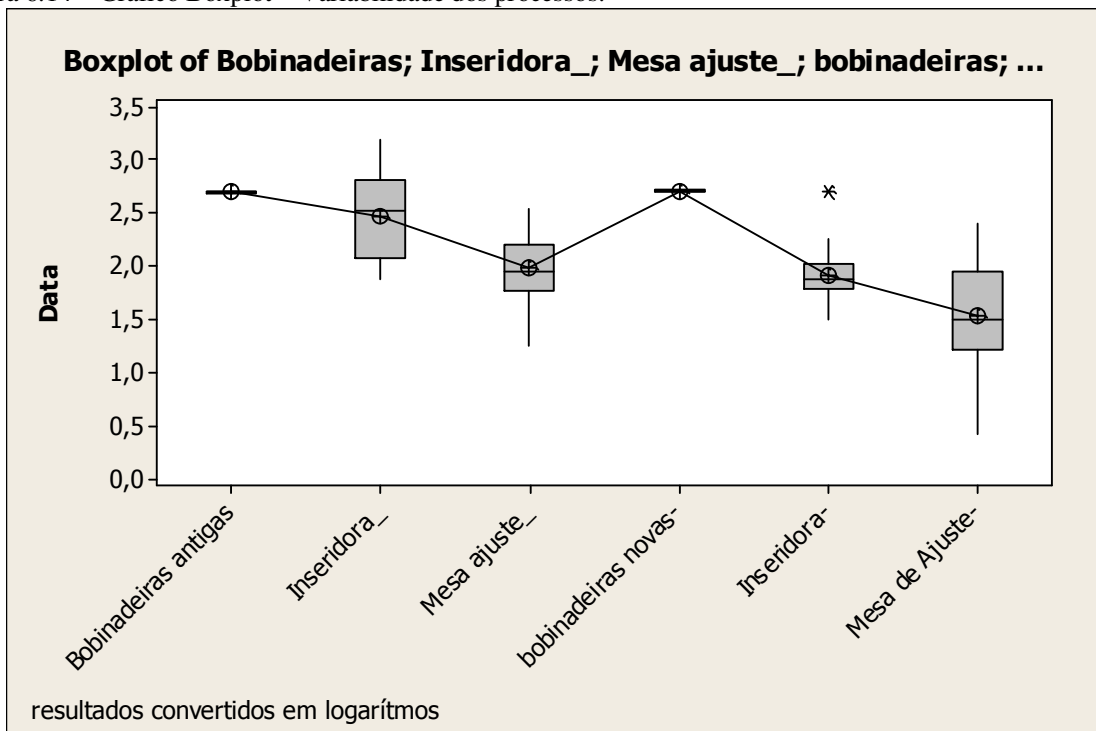
Na figura 6.13, e figura 6.14, foram feitas apenas a comparação dos processos que tiveram influência na diminuição da variabilidade das bobinadeiras (bobinadeiras, inseridoras e mesas de ajustes).

Figura 6.13– Valores individuais - Variabilidade dos processos.



Fonte: Próprio Autor.

Figura 6.14 – Gráfico Boxplot – Variabilidade dos processos.



Fonte: Próprio Autor.

De acordo com a tabela 6.7, foi levantado, através de dados fornecidos pela empresa os chamados diários de manutenção das bobinadeiras antigas, e calculando as peças que deixaram de ser produzidas (custo de oportunidade) chegou-se a sua produção tida como real. Na tabela 6.8, segue-se o mesmo raciocínio, temos os diários de manutenção das bobinadeiras novas também fornecidos pela empresa. Deve-se enfatizar que o período levantado foi o mês de maior incidência para os chamados.

Tabela 6.7 – Chamados de manutenção das bobinadeiras antigas – mês de outubro/2011.

DATA	PRODUÇÃO	MANUTENÇÃO	PRODUÇÃO REAL
	pçs/dia(sem manutenção)	pçs/dia(deixadas de produzir)	Capacidade real (pçs/dia)
01/out	2640	180	2460
03/out	2640	84	2556
04/out	2640	30	2610
05/out	2640	160	2480
06/out	2640	1040	1600
07/out	2640	760	1880
08/out	2640	0	2640
10/out	2640	44	2596
11/out	2640	0	2640
12/out	2640	0	2640
13/out	2640	464	2176
14/out	2640	0	2640
15/out	2640	36	2604
17/out	2640	990	1650
18/out	2640	360,00	2280
19/out	2640	800,00	1840
20/out	2640	160,00	2480
21/out	2640	328,00	2312
22/out	2640	0,00	2640
24/out	2640	306,00	2334
25/out	2640	0,00	2640
26/out	2640	50,00	2590
27/out	2640	39,60	2600
28/out	2640	590,00	2050
29/out	2640	0,00	2640
31/out	2640	0,00	2640

Fonte: Próprio Autor.

Tabela 6.8 – Chamados de manutenção das bobinadeiras novas – mês de outubro/2011.

DATA	PRODUÇÃO	MANUTENÇÃO	PRODUÇÃO REAL
	pçs/dia(sem manutenção)	pçs/dia(deixadas de produzir)	Capacidade real (pçs/dia)
01/out	2640	0	2640
03/out	2640	0	2640
04/out	2640	60	2580
05/out	2640	0	2640
06/out	2640	0	2640
07/out	2640	0	2640
08/out	2640	0	2640
10/out	2640	9	2631
11/out	2640	0	2640
12/out	2640	0	2640
13/out	2640	180	2460
14/out	2640	0	2640
15/out	2640	0	2640
17/out	2640	1260	1380
18/out	2640	189,6	2450
19/out	2640	0	2640
20/out	2640	74,4	2566
21/out	2640	0	2640
22/out	2640	0	2640
24/out	2640	0	2640
25/out	2640	140,4	2500
26/out	2640	0	2640
27/out	2640	0	2640
28/out	2640	459,6	2180
29/out	2640	0	2640
31/out	2640	0	2640

Fonte: Próprio Autor.

6.2.4 Elevar as restrições

O próximo passo para a integração da toc & seis sigma seria a elevação desta restrição, uma vez que já se provou que o controle do processo pode trazer uma melhoria, ainda que discreta.

Para que a restrição seja elevada, neste caso se faz necessário a aquisição de novas bobinadeiras. De acordo com o gerente de produção, há estudos para que se faça a compra, e, por ser considerada pela empresa uma máquina cara, aproximadamente R\$1.000.000,00 cada uma, a sua aquisição não é de imediato.

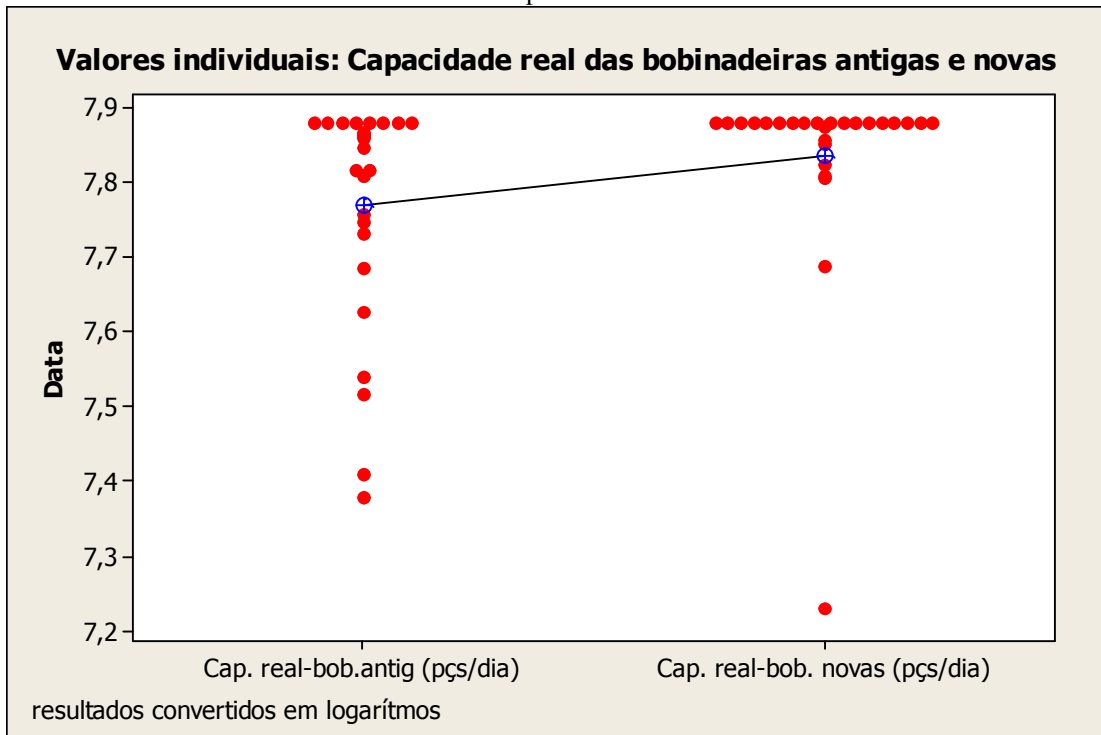
6.2.5 Verificar a próxima restrição

Para esse último passo, há a necessidade de primeiramente acabar com o antigo gargalo (manutenção preventiva e compras de mais bobinadeiras), para somente assim voltar novamente a investigar todos os processos da fábrica a fim de encontrar o gargalo que somente mudou de lugar, não deixando cair no esquecimento de voltar aos primeiros passos identificando novamente a próxima restrição, dando continuidade aos passos seguintes, ou seja, nunca deixando a inércia interferir na investigação.

7 Discussão dos resultados

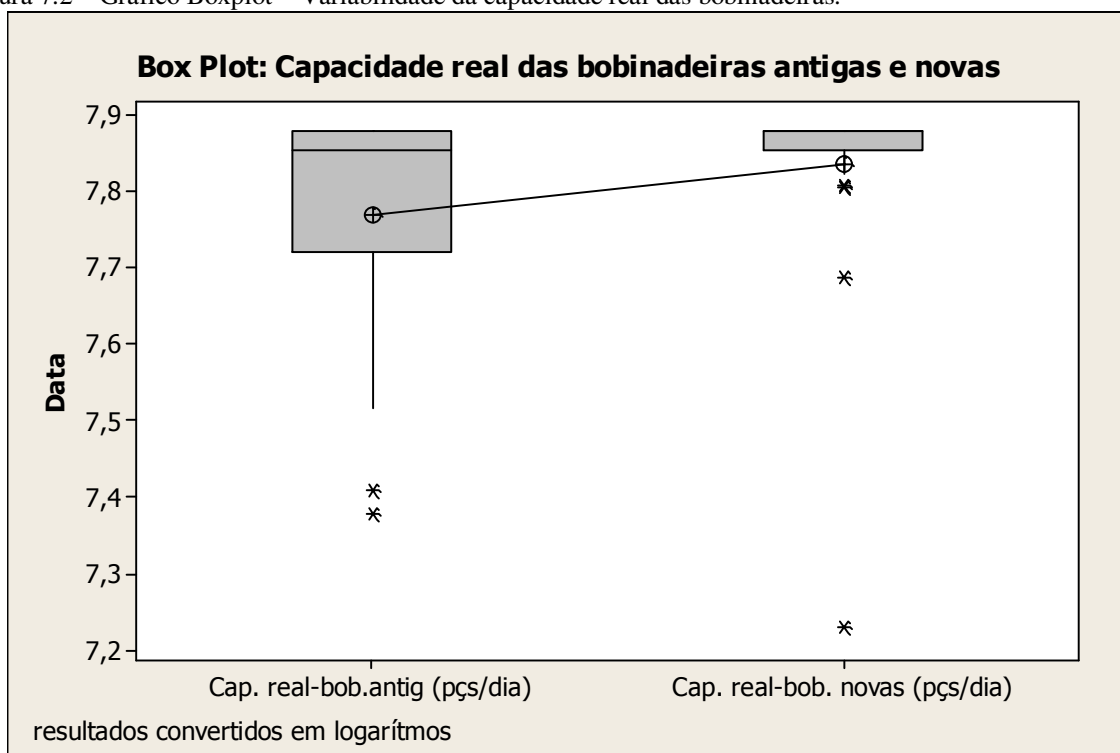
Nota-se, no cenário das bobinadeiras novas, com a diminuição da variabilidade nos tempos de produção houve um aumento na sua média de capacidade de produção diária. Isso pode ser comprovado através das figuras 7.1 e 7.2, e mais adiante com a análise de variância (ANOVA - *Analysis of Variance*) como comparativo entre os processos para a capacidade de produção.

Figura 7.1 – Valores individuais - Variabilidade da capacidade real das bobinadeiras



Fonte: Próprio Autor.

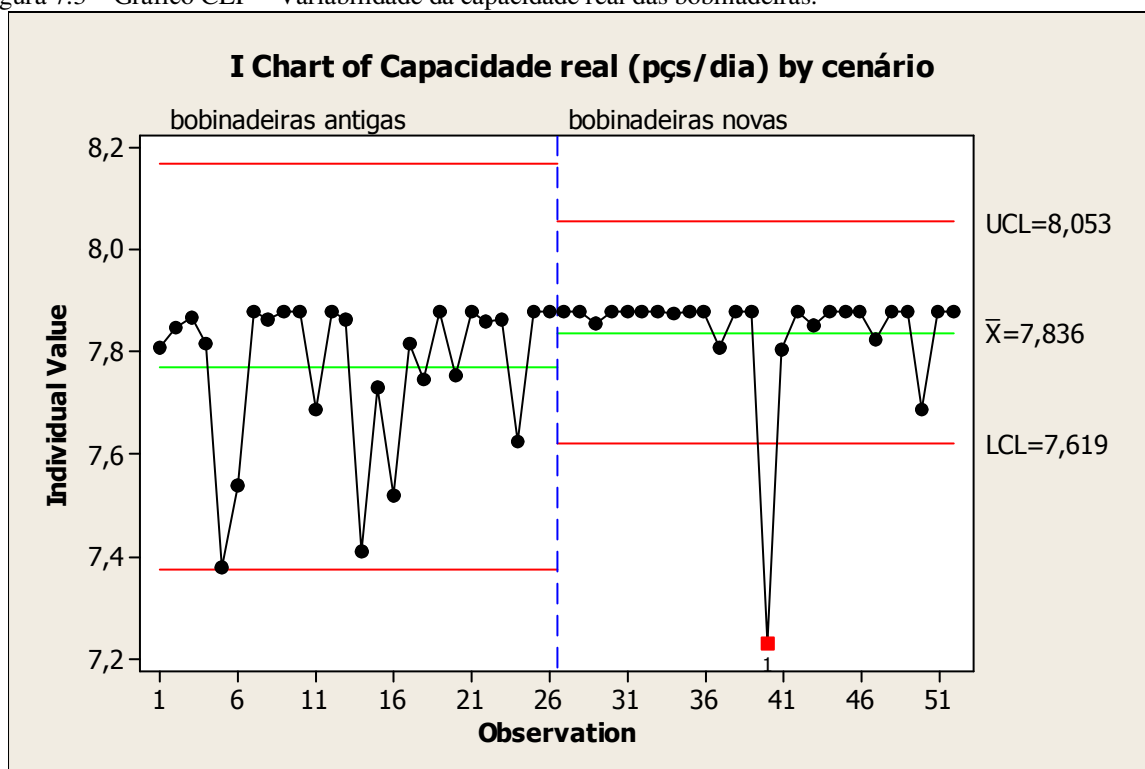
Figura 7.2 – Gráfico Boxplot – Variabilidade da capacidade real das bobinadeiras.



Fonte: Próprio Autor.

Na figura 7.3, mostra o discreto aumento da média de capacidade de produção das bobinadeiras antigas comparada com as bobinadeiras novas e uma modesta diminuição na sua variabilidade, mesmo com a presença de um ponto discrepante.

Figura 7.3 – Gráfico CEP – Variabilidade da capacidade real das bobinadeiras.



Fonte: Próprio Autor.

7.1 ANOVA – Capacidade de produção/horas

Na sua análise de capacidade de produção, usou-se a análise de variância – ANOVA, sendo as seguintes hipóteses:

- H_0 os processos produtivos assumem uma forma de igualdade ou semelhança nos nas suas capacidades (Aceito H_0 se $p \geq 0,05$);
- H_1 os processos produtivos mostram-se que há diferenças de capacidades entre eles. (Rejeito H_0 e aceito H_1 para $p < 0,05$);

Os processos dos dois cenários representados pela sua capacidade de produção por peças/horas demonstram pela ANOVA, através do seu *P-Value*, a aceitação de H_0 e a rejeição da hipótese H_1 , confirmando que não há diferenças significativas entre os dois cenários dos processos, com comportamentos respondendo de forma semelhante.

7.1.1 One-way ANOVA: Cap. real-bob.antig (pçs/dia); Cap. real-bob. novas (pçs/dia)

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	1	0,0575	0,0575	2,85	0,097
Error	50	1,0073	0,0201		
Total	51	1,0649			

Level	N	Mean	StDev
Cap. real-bob.antig (pçs	26	7,7699	0,1525
Cap. real-bob. novas (pçs	26	7,8364	0,1306

7.1.2 Comentário estatístico

Pelo fato do valor do *P-Value* (0,097) ser maior que 0,005, aceita-se H_0 e rejeita-se H_1 – não há diferenças significativas entre os processos, logo eles são semelhantes na capacidade produtiva por peças/horas.

7.1.3 Comentário que se aplica ao trabalho

Capacidade produtiva, representada por peças/hora. Durante a fase do estudo, constatou que os processos são tecnicamente iguais, devendo aplicar medidas que façam aumentar a média de produção de peças/hora, como por exemplo, a manutenção preventiva e a compra de novas bobinadeiras, tornando-se assim, diferentes quanto à sua capacidade de produção.

8 Considerações finais

O trabalho veio com a proposta de avaliar a integração da teoria das restrições com a metodologia do seis sigma, mostrando que pode ser possível para a empresa obter informações mais precisas que ajudarão a gerência a tomar decisões no que diz respeito ao aumento da capacidade de produção, através de todo o seu mapeamento para a identificação do gargalo e verificar se este, sofre algum tipo de variabilidade ou não.

Para Nave (2002), as duas metodologias se complementam, sendo o papel da teoria das restrições o de identificar a restrição do sistema, enquanto o seis sigma, em uma etapa subsequente trataria da sua variabilidade, possibilitando a maximização dos resultados organizacionais.

Sendo possível identificar a variabilidade no gargalo, torna-se importante saber qual a melhor ferramenta estatística que pode ser usada para que seja mensurada esta variabilidade e estudar as suas principais causas. Deve-se dizer que variabilidades podem ser originadas de processos anteriores, conforme mostra a figura 6.5, mesmo não sendo um gargalo, a inseridora tinha uma alta variabilidade ocasionada não pelo seu próprio processo, mas pela má qualidade do processo anterior (bobinadeiras antigas).

Na visão de Jin (2009), um projeto de redução de variabilidade nem sempre ampliará a restrição, concorrendo para o aumento dos resultados globais da empresa, e mesmo ambas as metodologias podendo produzir benefícios secundários, não há garantias de que o referido projeto será bem sucedido.

Este cenário foi observado nas bobinadeiras consideradas o gargalo do sistema, uma vez que demonstrando uma discreta diminuição na sua variabilidade, os avanços na sua restrição não foram significativos, porém essa melhoria se deu de uma maneira mais acentuada em um processo secundário, ou seja, nas inseridoras.

O gargalo não era ocasionado por uma questão de variabilidade e sim de capacidade (compra de novas máquinas). Esse gargalo ocasionava variabilidade de tempo no processo posterior (inseridoras), sendo necessário deslocar mais colaboradores para suprir a falta de qualidade com que as inseridoras recebiam as bobinas, com a finalidade de que não houvesse um acúmulo de produtos nesta etapa de produção.

Descobriu-se que a ausência de uma manutenção mais rigorosa e precisa, de caráter preventivo nas bobinadeiras levava a todo esse cenário de variabilidade, e perda de capacidade de produção.

Diante do que foi explorado e pesquisado, o gerente de produção já tomou nota de que realmente é necessário uma manutenção nas bobinadeiras e que usará os cálculos do estudo para comprovar para os diretores da empresa, na tentativa de sensibiliza-los das melhorias que poderão obter, tanto de caráter qualitativo quanto quantitativo, uma vez já consideradas como gargalos do sistema, as suas quebras comprometem ainda mais a capacidade de produção da fábrica.

Para Zaffani (2005, p. 10) “as maiores críticas à Teoria das Restrições referem-se à mínima influência dos funcionários e a não valorização das análises de dados”.

A empresa, apesar de possuir um departamento de controle de qualidade, existe a demora na atualização dos tempos dos seus processos. Outro fato que chamou a atenção é que não há ações para criarem projetos que estudem in loco ou que apontem as principais causas de problemas para justificarem de uma forma mais sólida, mudanças que melhorariam tanto a qualidade ou a capacidade de produção.

O que existe são reuniões que os gerentes e líderes participam e que levam ao conhecimento dos operários assuntos relacionados a produtividade. Houve relatos do gerente de produção, que já foram acatadas opiniões de operários que melhoraram as operações, porém não há uma política que ofereça incentivos quanto a esse respeito. Deve-se dizer também que acontece faltas com frequência de operários, sendo que outros são deslocados para suprirem seus postos de trabalho, e que há também uma alta rotatividade, contratando pessoas novas para o trabalho. Nos períodos de alta demanda de mercado, as contratações se acentuam, através de um banco de dados cadastrais, porém nem sempre são os mesmos contratados do período anterior.

Uma das dificuldades, foi não ter conseguido entrevistar, ou até mesmo conversar com os funcionários na hora que estavam trabalhando, pois com o fluxo de produção contínuo não havia meios de fazer isso sem que atrapalhasse o seu trabalho, e conseqüentemente a produção. As informações que precisava obter com a empresa, muitas vezes demorava dias, chegando a até mesmo a uma semana, porém nunca deixavam de ser atendidas ou de responder a um e-mail ou telefonema do pesquisador. Alguns funcionários que poderiam dar algumas informações adicionais, encontravam-se de férias, outros eram novos no setor.

Porém, os dados foram sendo conseguidos aos poucos e os estudos prosseguiram.

Segundo Kasemset (2011, p. 327) “desde então, poucas pesquisas destacam a TOC tendo em vista a melhoria de qualidade.”

Torna-se importante para qualquer empresa manter seus estudos no gargalo e sempre verificando as variabilidades de seus processos, para que tenham uma melhor visão do

problema e proponham projetos de melhorias para sua capacidade de produção, procurando atingir assim novos mercados.

A pesquisa mostra que aplicando os conceitos da teoria das restrições, conseguiu encontrar o gargalo da empresa e verificando que mesmo uma redução discreta na sua variabilidade com o uso da metodologia do seis sigma não se observou uma redução no seu tempo de produção, porém houve reflexos positivos na sua etapa posterior (inseridoras), com a diminuição na sua variação e aumento da sua média de capacidade de produção.

8.1 Sugestões para trabalhos futuros

Por sua característica exploratória, a sugestão colocada para trabalhos futuros pode ser ampliada focando a análise de um conjunto de estudos de casos para que se tenha uma análise mais comparativo da correlação da variabilidade com o gargalo de um sistema de produção, mostrando até que ponto isso afetaria ou não a lucratividade da empresa.

Referências

ADAMS, C.; GUPTA, P.; WILSON, C. Six sigma deployment. **New York: Butterworth Heineman**, 2003.

ALMEIDA, R. L. R. Uma abordagem para aplicação de projetos seis sigma baseada na teoria das restrições. In: **XXVI ENEGEP**, Fortaleza, out. 2006.

ANDRIETTA, J. M.; MIGUEL, P. A. C. A Importância do método seis sigma na gestão da qualidade analisada sob uma abordagem teórica. **Rev. Ciênc. Tecnol.**, v. 11, n. 20, p. 91-98. jul./dez. 2002. Disponível em: <http://www.leansixsigma.com.br/acervo/ACERVO_1722917.PDF>. Acesso em: 04 abr. 2012.

ANTONY, J.; BANUELAS, R. Key ingredients for the effective implementation of Six Sigma program. **Measuring Business Excellence**, v. 6, n. 4, p. 20-27, 2002. Disponível em: <<http://emeraldinsight.com/journals.htm?articleid=843732&show=html>> Acesso em: 30 jan. 2012.

BARROS, A. D.; MOCCELLIN, J. V. Análise da flutuação do gargalo em flow shop permutacional com tempos de setup assimétricos e dependentes da seqüência. **Gest. Prod.**, São Carlos, v. 11, n. 1, Apr. 2004. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-530X2004000100009&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 04 nov 2011.

BRYMAN, A. Research methods and organization studies. London: Unwin Hyman, 1989.

CALIA, R. C.; GUERRINI, F. M. Projeto Seis Sigma para a implementação de software de programação. **Prod. [online]**. 2005, vol.15, n.3, p. 322-33, set/dez 2005. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-65132005000300004>. Acesso em 07 maio 2012

CHANG, H.M. et al. The Construction of Production Improvement Model for Aerospace Manufacturing Suppliers. Key Engineering Materials Vol. 443 (2010) p. 748-753. Online available since 2010/Jun/02 at www.scientific.net © (2010) **Trans Tech Publications**, Switzerland doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.443.748. Acesso em: 02 julho 2012.

CHASE, R. B; JACOBS, F. R.; AQUILANO, N. J. **Administração da produção para a vantagem competitiva**. 10. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. 724p.

CHIZZOTTI, A. **Pesquisa em ciências humanas e sociais**. 7. Ed. São Paulo: Cortez, 2005. 164 p.

COLLIN, L. R. O.; PAMPLONA, E. O. Utilização da função perda de taguchi na prática do controle estatístico de processo. **Escola Federal de Engenharia de Itajubá**, 1997. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP1997_T4410.PDF>. Acesso em: 16 jan. 2012.

CONLIN, M. Revealed at last: the secret of Jack Welch's success, **Forber**, v. 61, n. 2, Jan. 1998. Disponível em: <<http://www.forbes.com/forbes/1998/0126/6102044a.html>>. Acesso em: 09 fev. 2012.

DALE, B. Marginalisation of quality: is there a case to answer?. **The TQM Magazine**, v. 12, n. 4, p. 266-274, 2000. Disponível em: <<http://www.emeraldinsight.com/journals.htm?articleid=841951&show=html>>. Acesso em: 09 fev. 2012.

DAMASCENO, H. E. M. et al. Aplicação da estratégia seis sigma à uma unidade de saúde. In: Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, 13; Encontro Latino Americano de Pós-Graduação, 9, 2009, Universidade do Vale do Paraíba. **Anais...** Disponível em: <http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2009/anais/arquivos/RE_0881_0439_01.pdf>. Acesso em: 07 mar. 2012.

DIAS, S. L. V. **Alinhamento entre sistemas de produção, custo e indicadores de desempenho: um estudo de caso**. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, v. 7, n. 2, ago. 2007. Disponível em: <<http://www.produçaoonline.ufsc.br>>. Acesso em: 21 jan. 2012.

ECKES, G. **A revolução seis sigma: o método que levou a GE e outras empresas a transformar processos em lucros**. 8. reimp. Rio de Janeiro: Elsevier, 2001.

EIHE, I.; SHEU, C. Integrating six sigma and theory of constraints for continuous improvement: a case study. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 16, n. 5, p. 542-553, 2005. Disponível em: <<http://www.emeraldinsight.com/journals.htm?articleid=1508944&show=abstract>>. Acesso em: 05 dez 2011.

FERREIRA, A. H. Aspectos importantes na implantação da teoria das restrições na gestão da produção: um estudo multicaso. 2007. **Dissertação (Mestrado em Administração de Organizações)** - Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2007. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/96/96132/tde-25042008-113059/>>. Acesso em: 07 ago 2011.

FLORES, R. Teoria das restrições: análise da implantação de um modelo de gestão baseado na teoria das restrição na UCAR Produtos de Carbono S/A, em Candeias-BA – **Dissertação (mestrado)** – Universidade Federal da Bahia, 2005. Disponível em: <<http://www.adm.ufba.br/publicacao/teoria-restricoes-analise-implantacao-modelo-gestao-baseado-teoria-restricoes-ucar>>. Acesso em 10 de julho de 2011.

GAITHER, N; FRAZIER, G. **Administração da produção e operações**. 8.ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2005.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 1999. 206 p.

GIL A.C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4.ed. São Paulo: Atlas, 2002. 176 p.

GODEIRO, D. P. O. et al. **Cultura seis sigma em pequenas e médias empresas**. In: ENEGEP, 24, 2006, Fortaleza, CE. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2006_TR470319_7844.pdf>. Acesso em 25 jan. 2012

GOLDRATT, E. M. **Corrente crítica**. São Paulo: Nobel, 1998. 260 p.

GOLDRATT, E.M. **A meta**. 4.ed. rev. São Paulo: IMAM, 1990.

GOLDRATT, E. M.; COX, J. **The goal: a process of ongoing improvement**. Great Barrington, MA: Nort River Press Publishing Company, 1992.

GONÇALVES, B. S. O. A importância do processo de alinhamento da estratégia com projetos seis sigma: um estudo multicase em operadores logísticos. 2007. **Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)** – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

GUTIERRES, N.. Six sigma lean manufacturing. **Revista Banas Qualidade**, ano 23, n. 203, abr. 2009.

GRILLO FILHO, C. M. Debate seis sigma. As probabilidades no Brasil. **Revista Banas Qualidade**, ano 15, n. 168, maio 2006.

HENDERSON, K. M.; EVANS, J. R. Successful implementation of six sigma: benchmarking General Electric Company. **Benchmarking: An International Journal**, v. 7, n. 4, p. 260-281, 2000. Disponível em: <<http://www.emeraldinsight.com/journals.htm?articleid=843007>>. Acesso em: 12 mar. 2012.

HSU, Y.C.; PEARN, W.L.; WU, P.C. Capability adjustment for gamma processes with mean shift consideration in implementing Six Sigma program. *European Journal of Operational Research* 191. p. 517-529, 2008. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037722170700865X>>. Acesso em: 02 julho 2012.

INGLE, S.; ROE, W. Six sigma black belt implementation. **The TQM Magazine**, v. 13, n. 4, p. 273-280, 2001.

JIN, K. et al. Integrating the theory of constraints and six sigma in manufacturing process improvement. **World Academy of Science, Engineering and Technology** 49, p. 550-554, 2009. Disponível em: <<http://www.waset.org/journals/waset/v49/v49-100.pdf>>. Acesso em: 15 jul. 2011.

JURAN, J. M.; GRYNA, F. M. **Controle da qualidade handbook**: qualidade nas diversas regiões geográficas e zonas de influência política. São Paulo: Makron Books, 1993. v. 9.

KASEMSET, C. A Review on Quality Improvement and Theory of Constraint (TOC). Department of Industrial Engineering, Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand. 2011.

MARQUES, J. A. V. C.; SALES CIA, Joanília Neide de. Teoria das restrições e contabilidade gerencial: interligando contabilidade à produção. *RAE – Revista de Administração de Empresas*, São Paulo, v. 38 n. 3 p. 34-46, jul./set. 1998.

MARTINS, R. A. et al. **O papel dinâmico da medição de desempenho nos projetos seis sigma: um estudo de caso**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 26, 2006, Fortaleza, CE. Disponível em: <<http://xa.yimg.com/kq/groups/19698351/673579145/name/SIX+SIGMA2.pdf>>. Acesso em: 04 abr. 2012.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

NAVE, D. How to compare six sigma, lean and the theory of constraints. **Quality Process**, p. 73-78, Mar. 2002. Disponível em: <<http://www.lean.org/Admin/KM%5Cdocuments/76dc2bfb-33cd-4ef2-bcc8-792c5b4ef6a6-ASQStoryonQualitySigmaAndLean.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2012.

NOREEN, E.; SMITH, D.; MACKEY, J. T. **A teoria das restrições e suas implicações na contabilidade gerencial**. São Paulo: Educator, 1996.

PESSOA, P. F. A. P.; CABRAL, J. E. O. **Identificação e análise de gargalos produtivos: impactos potenciais sobre a rentabilidade empresarial**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 25, 2005, Porto Alegre, RS. Disponível em: <http://www.ceinfo.cnpat.embrapa.br/arquivos/artigo_657.pdf>. Acesso em: 30 set. 2011.

PEGELS, C.C.; WATROUS, C. Application of the theory of constraints to a bottleneck operation in a manufacturing plant. **Journal of Manufacturing Technology Management**. Vol. 16 Iss:3 p. 302-311, 2005. Acesso em: 02 julho 2012.

PLANTULLO, V. L. Um pouco além do Just-in-Time: uma abordagem à teoria das restrições. **RAE – Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v. 34, n. 5 p. 32-39, set./out. 1994.

PROVOST, L. P.; NORMAN, C. L. Variation through the ages. **Quality Progress**, p. 39-44, 1990. Disponível em: <<http://www.apiweb.org/VariationThroughAges.pdf>>. Acesso em: 16 jan. 2012.

RADHAKRISHNAN, R.; BALAMURUGAN, P. Six sigma based control chart for fraction defectives. **Journal of Testing and Evaluation**. Vol. 39, no. 4, jan/2011.

RATH & STRONG. **Six sigma pocket guide**. 2. ed. Lexington: AON, 2001. 192 p.

REIS, M. A. **Aplicação da teoria das restrições: um estudo de caso**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 24, 2004, Florianópolis, SC. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2004_Enegep0107_1283.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2011.

RIBEIRO, M. A.; SILVEIRA, J. L.; QASSIM, R. Y. Joint optimization of maintenance and buffer size in a manufacturing system. **European Journal of Operational Research**, v. 176, n. 1, p. 405-413, Jan. 2007.

ROESCH, Sylvia Maria Azevedo. **Projetos de estágio e de pesquisa em administração**. 2 ed. São Paulo: Atlas, 1999.

ROMANO, A.L. Um estudo sobre a sustentabilidade corporativa: Análise de ferramentas e verificação da aplicação numa empresa produtora do setor de material de escritório. **Dissertação (Mestrado)- Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente** - Centro Universitário de Araraquara – UNIARA, 2009.

ROTONDARO, R. Seis sigma: estratégia gerencial para melhoria de processos, produtos e serviços. 5. reimpr. São Paulo: Atlas, 2008.

SANDHOLM, L.; SORQVIST, L. 12 Requirements for six sigma success. **Fórum Magazine**, nov. 2002. Disponível em: <http://sandholm.se/Artiklar/pdf/12_requirements.pdf> Acesso em: 31 jan. 2012.

SANTOS, A. B.; MARTINS, M. F. (2004). Pensamento estatístico: um componente primordial para o sucesso do programa de qualidade seis sigma. In: **ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**, 24, 2004, Florianópolis, SC. Disponível em: <<http://xa.yimg.com/kq/groups/19698351/1571036673/name/SIX+SIGMA1.pdf>>. Acesso em: 20 jan. 2012.

SANTOS, A. B.; MARTINS, M. F. Um modelo de aplicabilidade para implementação dos projetos seis sigma. In: **ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**, 23, 2002, Curitiba, PR. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2002_TR21_0381.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2012.

SILVA, E. L. D.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4. ed. Florianópolis: UFSC, 2005. Disponível em: <http://www.portaldeconhecimentos.org.br/index.php/por/content/view/full/10232>>. Acesso em: 28 maio. 2012.

SILVA, W. B. Projeto para o aumento da vida útil das ferramentas de corte no processo de torneamento vertical de anéis de pistão: uma abordagem seis sigma. 2010. **Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção (PPGEP)** - Universidade Federal de Itajubá. Disponível em: <<http://www.leansixsigma.com.br/acervo/722217.PDF>>. Acesso em: 12 nov. 2011.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002. 747p.

SMITH, D. The measurement nightmare: how the theory of constrain... **New York: St. Lucie Press**, 2000. 184p.

SOHAL, A. Assessing manufacturing/quality culture and practices in Asian companies. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 15, n. 09, p. 920-930, 1998. Disponível em: <<http://www.emeraldinsight.com/journals.htm?articleid=840379&show=abstract>>. Acesso em: 12 mar. 2012.

SOUZA, F. B. et al. Utilização do sistema de produção da teoria das restrições na gestão da cadeia de suprimentos: uma revisão conceitual. Maringá Management. **Revista de Ciências Empresariais**, v.1, n. 1. p. 19-26, jan./dez. 2004. Disponível em <<http://www.maringamanagement.com.br/novo/index.php/ojs/article/viewFile/7/5>>. Acesso em: 12 out. 2012.

SANDHOLM, L.; SÖRQVIST, L. Strategies for successful six sigma implementation. **ICQ'05 Tokyo International Conference on Quality**. September, 2005. Disponível em: <<http://www.sandholm.se/Artiklar/pdf/ICQ05%20strat%20for%20succ%20six%20sigma.pdf>>. Acesso em: 02 fev 2012.

THOMAS, J. R. et al. **Métodos de pesquisa em atividade física**. 5. ed. reimp. Porto Alegre: Artmed, 2008.

TOGNETTI, M. A. T. R. **Metodologia da Pesquisa Científica. Slides de apresentação.** São Paulo: Serviço de Biblioteca e Informação do Instituto de Física de São Carlos - IFSC, 2006. Disponível em: < <http://www.slideshare.net/foalencar/metodologia-pesquisa-cientifica-24-03-2009> > Acesso em 14 out 2011.

TONINI, A.C.; SPÍNOLA, M. M.; LAURINDO, F.J.B. **Six Sigma and Software Development Process: DMAIC Improvements.** PICMET 2006 Proceedings, 9-13 July, Istanbul, Turkey (c) 2006 PICMET. Acesso em: 02 fev. 2012.

TRAD, S.; MAXIMIANO, A. C. A. Seis sigma: fatores críticos de sucesso para sua implantação. **Rev. Adm. Contemp.**, Curitiba, v. 13, n. 4, dez. 2009 . Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-65552009000400008&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 24 jan. 2012.

UMBLE, M.; UMBLE, E. J. Utilizing buffer management to improve performance in a healthcare environment. **European Journal of Operational Research**, v. 174, n. 2, p. 1060-1075, Oct. 2006.

WILSON; PEREZ, M. **Seis sigma: compreendendo o conceito, as implicações e os desafios.** Rio de Janeiro: Qualitymark, 2000.

WERKEMA, M. C. C. **Análise de regressão: como entender o relacionamento entre as variáveis de um processo.** Belo Horizonte, MG: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1996.

WERKEMA, M. C. C. **Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos.** Belo Horizonte, MG: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1995.

YIN, R, **Estudo de caso: planejamento e métodos.** 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

YASSUKAWA, F. R. S.; MINGOTI, S. A. Um estudo do comportamento dos gráficos de controle construídos via metodologia de geoestatística. In: SIMPEP, 8, 2006, Bauru, SP. **Anais...** Disponível em: <http://www.simpep.feb.unesp.br/anais/anais_13/artigos/80.pdf> Acesso em: 31 mar. 2012.

ZAFFANI, C. A. A felicidade no trabalho. **Revista Tendências do Trabalho**, n. 371-372, p. 10, jul./ago. 2005.

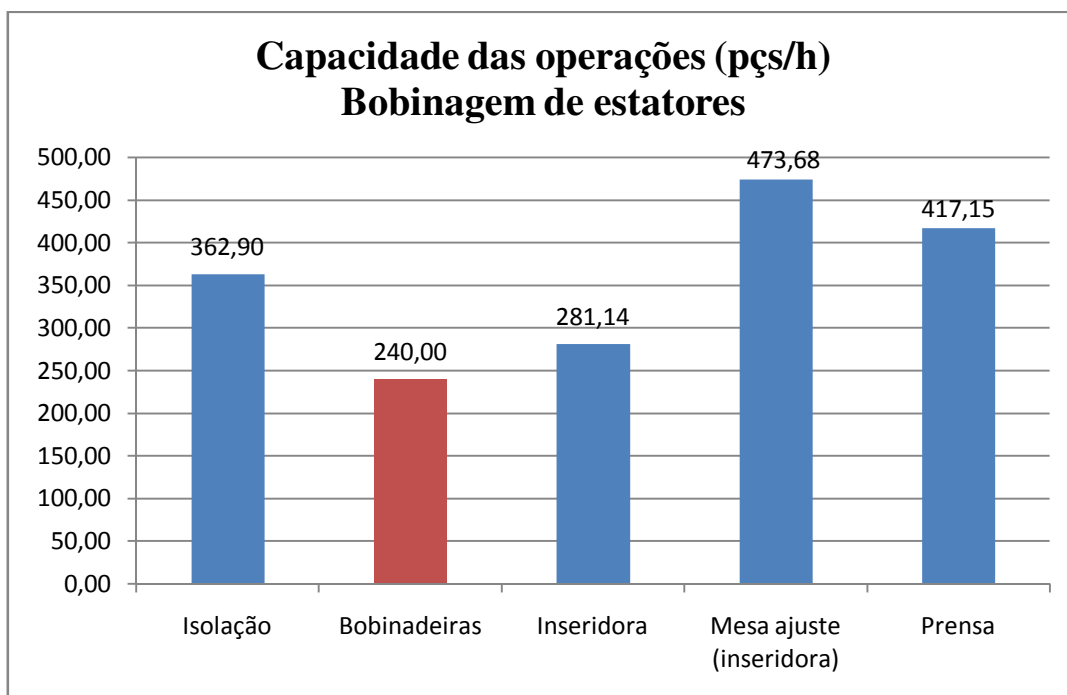
APÊNDICES

APÊNDICE: A

Apêndice A: Média (% h) das 8 bobinadeira paradas/mês

Meses	Média (% h) das 8 bobinadeira paradas/mês
jan/11	1,30%
fev/11	1,23%
mar/11	0,58%
abr/11	0,71%
mai/11	0,43%
jun/11	0,92%
jul/11	0,53%
ago/11	1,13%
set/11	1,70%
out/11	1,78%
nov/11	1,00%
dez/11	0,69%
jan/12	0,93%
fev/12	1,03%
mar/12	0,80%
abr/12	0,96%
mai/12	0,40%
jun/12	0,48%
jul/12	0,53%
ago/12	0,27%
set/12	0,43%

APÊNDICE: B

Apêndice B: Capacidade das operações (pçs/h) - Bobinagem de estatores

APÊNDICE: C

Apêndice C: Tabela de tempos: Bobinagem de estatores antigos

Tabela de tempos - Bobinagem de estatores antigos

<i>Isolação</i>	<i>bobinadeiras-antigas</i>	<i>bobinadeiras antigas</i>	<i>Inseridora</i>	<i>Inseridora</i>	<i>Mesa de ajuste</i>	<i>Mesa de ajuste</i>	<i>Prensa</i>
10,5	122	15,25	18	9	15	7,5	8,4
9,2	120	15,00	41	20,5	7	3,5	8
10	118	14,75	19,6	9,8	24	12	9,4
9,3	120	15,00	30	15	18	9	9,7
9,9	120	15,00	39	19,5	11,7	5,85	8,7
9,1	120	15,00	16	8	9,7	4,85	9,1
10,7	120	15,00	14	7	9,2	4,6	7,2
10,5	123	15,38	32	16	9	4,5	8,2
9,9	122	15,25	40	20	11	5,5	7,6
8,8	121	15,13	14	7	13,6	6,8	8,2
9,6	122	15,25	24	12	23,9	11,95	7,1
10,3	121	15,13	16	8	11,6	5,8	8,4
9,5	120	15,00	16	8	18,5	9,25	8,3
8,8	120	15,00	24	12	14,7	7,35	9,8
9,1	117	14,63	33	16,5	24,2	12,1	8,3
8,8	117	14,63	20	10	12,9	6,45	11,9
10,5	118	14,75	36	18	12,8	6,4	9
10,6	117	14,63	13,7	6,85	15,8	7,9	7,7
9,6	118	14,75	18	9	18,3	9,15	8,6
8,3	118	14,75	36,2	18,1	14,9	7,45	9,8
8,6	118	14,75	34,3	17,15	15,5	7,75	10
10,7	117	14,63	20,5	10,25	12,8	6,4	9,6
11,5	120	15,00	28	14	12,2	6,1	7,5
11,1	120	15,00	26	13	10,9	5,45	8,1
8,8	120	15,00	13	6,5	13,5	6,75	8,9
11,2	119	14,88	26	13	17,1	8,55	7,9
11	119	14,88	26	13	25,5	12,75	8,5
11,7	119	14,88	31	15,5	23,7	11,85	9
11,5	120	15,00	41	20,5	16,8	8,4	7,5
8,5	119	14,88	14,3	7,15	12,5	6,25	8,4

APÊNDICE: D

Apêndice D: Tabela de tempos: Bobinagem de estatores novos

Tabela de tempos - Bobinagem de estatores

<i>Isolação</i>	<i>bobinadeiras-novas</i>	<i>bobinadeiras novas</i>	<i>Inseridora</i>	<i>Inseridora</i>	<i>Mesa de Ajuste</i>	<i>Mesa de Ajuste</i>	<i>Prensa</i>
10,5	121	15,13	15	7,5	8	4,00	8,4
9,2	121	15,13	15	7,5	8	4,00	8
10	121	15,13	15	7,5	4	2,00	9,4
9,3	121	15,13	13	6,5	5	2,50	9,7
9,9	121	15,13	19	9,5	15	7,50	8,7
9,1	121	15,13	9	4,5	8	4,00	9,1
10,7	121	15,13	11	5,5	4	2,00	7,2
10,5	120	15,00	15	7,5	8	4,00	8,2
9,9	120	15,00	12	6	6	3,00	7,6
8,8	120	15,00	13	6,5	8	4,00	8,2
9,6	120	15,00	14	7	11	5,50	7,1
10,3	120	15,00	30	15	9	4,50	8,4
9,5	120	15,00	15	7,5	14	7,00	8,3
8,8	120	15,00	11	5,5	7	3,50	9,8
9,1	120	15,00	12	6	19	9,50	8,3
8,8	120	15,00	12	6	15	7,50	11,9
10,5	120	15,00	14	7	3	1,50	9
10,6	120	15,00	12	6	10	5,00	7,7
9,6	120	15,00	12	6	8	4,00	8,6
8,3	120	15,00	17	8,5	6	3,00	9,8
8,6	120	15,00	10	5	19	9,50	10
10,7	120	15,00	14	7	14	7,00	9,6
11,5	120	15,00	17	8,5	22	11,00	7,5
11,1	121	15,13	11	5,5	6	3,00	8,1
8,8	121	15,13	12	6	12	6,00	8,9
11,2	121	15,13	15	7,5	16	8,00	7,9
11	121	15,13	13	6,5	11	5,50	8,5
11,7	121	15,13	14	7	12	6,00	9
11,5	121	15,13	11	5,5	14	7,00	7,5
8,5	121	15,13	12	6	9	4,50	8,4