

**UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO - UNINOVE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**BRUNO ALEXANDRE DURÃES DA COSTA**

**INTEGRAÇÃO DA MANUFATURA ENXUTA, SEIS SIGMA E TEORIA DAS  
RESTRICÇÕES: UM MODELO CONCEITUAL INCLUINDO SISTEMAS DE  
EXECUÇÃO DA MANUFATURA E SISTEMAS AVANÇADOS DE  
PLANEJAMENTO E PROGRAMAÇÃO**

**São Paulo**

**2014**

**BRUNO ALEXANDRE DURÃES DA COSTA**

**INTEGRAÇÃO DA MANUFATURA ENXUTA, SEIS SIGMA E TEORIA DAS  
RESTRICÇÕES: UM MODELO CONCEITUAL INCLUINDO SISTEMAS DE  
EXECUÇÃO DA MANUFATURA E SISTEMAS AVANÇADOS DE  
PLANEJAMENTO E PROGRAMAÇÃO**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Nove de Julho - UNINOVE, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção.

Prof. José Antônio Arantes Salles, Dr. -  
Orientador

São Paulo

2014

Costa, Bruno Alexandre Durães da.

Integração da manufatura enxuta, seis sigma e teoria das restrições: um modelo conceitual incluindo sistemas de execução da manufatura e sistemas avançados de planejamento e programação./ Bruno Alexandre Durães da Costa. 2014.

106 f.

Dissertação (mestrado) – Universidade Nove de Julho - UNINOVE, São Paulo, 2014.

Orientador (a): Prof. Dr. José Antônio Arantes Salles.

1. Teoria das restrições. 2. Manufatura enxuta. 3. Seis sigma. 4. Sistema de execução da manufatura.

I. Salles, José Antônio Arantes.      II. Título

CDU 658.5

São Paulo, 26 de agosto de 2014.

TERMO DE APROVAÇÃO

Aluno: Bruno Alexandre Durães da Costa

Título da Dissertação: INTEGRAÇÃO DA MANUFATURA ENXUTA, SEIS SIGMA E TEORIA DAS RESTRIÇÕES: UM MODELO CONCEITUAL INCLUINDO SISTEMAS DE EXECUÇÃO DA MANUFATURA E SISTEMAS AVANÇADOS DE PLANEJAMENTO E PROGRAMAÇÃO.

Presidente: PROF. DR. JOSÉ ANTONIO ARANTES SALLES



Membro: PROF. DR. FERNANDO BERNARDI DE SOUZA



Membro: PROFA. DRA. ROSANGELA MARIA VANALLE



“Há um grande desejo em mim de sempre melhorar.

Melhorar. É o que me faz feliz.

E sempre que sinto que estou aprendendo menos, que a curva de aprendizado está nivelando, ou seja o que for, então não fico muito contente.

E isso se aplica não só profissionalmente, como piloto, mas como pessoa.”

(Ayrton Senna)

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, inicialmente, a minha família, por me motivar nos momentos em que pensei em desistir e principalmente a minha esposa Karine Durães pelas palavras certas nos momentos certos e mais do que isso, pelas atitudes positivas que me fizeram focar na realização das minhas pesquisas.

Agradeço a minha mãe, Elza Durães, pelos valores ensinados, pelo esforço e dedicação e por me proporcionar uma boa base, tornando-me a pessoa de caráter que sou hoje.

A todos os docentes que já passaram pela minha vida, seja na pré-escola, no Colégio Brasília, na graduação na Faculdade de Engenharia Industrial, na especialização *lato sensu* na Fundação Vanzolini ou no Mestrado na Universidade Nove de Julho, pois todos contribuíram para a minha formação.

À Universidade Nove de Julho que proporcionou a realização não somente do curso de Mestrado em Engenharia de Produção, mas também do curso de extensão em Docência no Ensino Superior, cujas experiências me fizeram conhecer melhor a relação professor-aluno nas diversas fases do aprendizado e suas inter-relações.

Agradeço também aos colegas do mestrado e do curso de docência pelo enriquecimento pessoal, pela visão crítica da sociedade e pelas diversas formas de ver e resolver o mesmo problema que compartilhamos.

Aos tios, tias, primos, primas e madrinha pelas conversas, aprendizados e reflexão que proporcionaram em todas as fases da minha vida.

A todos os amigos e colegas, cuja lista não é pequena, que entenderam o momentâneo, mas necessário, período de afastamento, que me apoiaram e se orgulharam da minha conquista.

Finalmente, gostaria de agradecer a minha avó, meu padrinho e ao meu padrasto que mesmo não estando mais entre nós, participaram da minha formação e certamente estão felizes olhando de algum lugar por este momento de alegria e por mais esta realização.

## RESUMO

Estudos sobre a melhoria contínua nas indústrias estão sendo realizados para otimizar os recursos utilizados e maximizar os resultados financeiros das empresas. As abordagens mais utilizadas para a realização destas melhorias nas indústrias, nos últimos anos, são: a teoria das restrições, a manufatura enxuta e o seis sigma, com diversos estudos utilizando uma solução híbrida em detrimento de apenas uma abordagem. Com base nisto, o presente trabalho teve como objetivo propor um modelo conceitual baseado no referencial teórico que integra as três abordagens citadas e utilizar sistemas avançados de planejamento e controle da produção e sistemas de execução da manufatura para planejar e coletar informações da produção. Desta forma, foi realizado um estudo bibliográfico sistemático nas principais bases de pesquisa, com o intuito de identificar os modelos existentes de integração das três abordagens de melhoria contínua e os principais conceitos de cada filosofia. A pesquisa, de cunho teórico-conceitual e de natureza exploratória, também se propôs a apresentar os principais conceitos relacionados à manufatura enxuta, teoria das restrições, seis sigma e às perspectivas de integração previstas na literatura. Nos resultados foram apresentadas as vantagens da inclusão dos Sistemas de execução da manufatura e dos Sistemas de planejamento avançado da produção nos modelos de integração.

**Palavras-chave:** Teoria das restrições, Manufatura enxuta, Seis sigma, Sistemas de execução da manufatura, Sistemas de planejamento avançado da produção.

## **ABSTRACT**

Studies about continuous improvement in industries are being conducted to optimize the resources used and maximize the financial performance of companies. The most widely used approaches to implementing these improvements in industry, in recent years, are: the theory of constraints, lean manufacturing and six sigma, with several studies using a hybrid solution instead of just one approach. Based on this, the present work aimed to propose a conceptual model based on the theoretical framework that integrates the three above approaches and using advanced systems of planning and control of production and manufacturing execution systems to plan and collect information from production. Thus, a systematic literature research in major research bases, in order to identify existing models of integration of the three approaches to continuous improvement and the main concepts of each philosophy was conducted. The research, theoretical-conceptual and exploratory in nature, it also proposed to present the key concepts related to lean manufacturing, theory of constraints, six sigma and prospects of integration envisaged in the literature. In the results the advantages of including Manufacturing execution systems and Advanced Planning Systems in the production models of integration were presented.

**Keywords:** Theory of constraints, Lean manufacturing, Six sigma, Manufacturing execution system, Advanced planning and scheduling systems.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ciclo de melhoria da ME .....	26
Figura 2 - Exemplo de Mapeamento de Fluxo de Valor .....	29
Figura 3 - Diagrama de Evaporação de Nuvem ou Diagrama de Resolução de Conflitos .....	38
Figura 4 - Modelo de aplicação das ferramentas do processo de raciocínio da TOC40	
Figura 5 - Demonstração genérica de programação da produção através do sistema TPC .....	44
Figura 6 - Relações entre medidas globais e locais .....	47
Figura 7 - Evolução do Seis Sigma .....	48
Figura 8 - Ciclo DMAIC .....	51
Figura 9 - Relação entre SIG e a Cadeia de Suprimentos .....	54
Figura 10 - Futuro do ME e APS .....	58
Figura 11 - Ultimate Improvement Cycle .....	65
Figura 12 - Comportamento do inventário utilizando sistema de mínimo/máximo ....	69
Figura 13 - Comportamento do inventário utilizando o sistema de distribuição e reposição da TOC .....	70
Figura 14 - Sistema TPC genérico com 5 linhas de produtos diferentes.....	71
Figura 15 - iTLS™ .....	72
Figura 16 - Roadmap para o sucesso da melhoria contínua (TOCLSS) .....	73
Figura 17 - Framework do Pensamento Enxuto na visão de Hines, Holweg and Rich (2004).....	75
Figura 18 - Modelo de Integração da TOC, ME e SS, utilizando MES e APS .....	79

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Comparação entre Seis Sigma, Manufatura enxuta e Teoria das restrições.....	20
Quadro 2 - Modelo para planejamento de intervenções organizacionais por meio do TP.....	40
Quadro 3 - Indicadores Seis Sigma.....	51
Quadro 4 - Publicações que utilizam a abordagem <i>Airspeed</i> .....	61
Quadro 5 - Resultados encontrados sobre a abordagem das filosofias TOC, ME e SS .....	62
Quadro 6 - Modelos que utilizam a TOC, a ME e o SS de forma conjunta .....	63
Quadro 7 - Fase de Preparação.....	80
Quadro 8 - Fase de Produção .....	83
Quadro 9 - Fase de Melhoria.....	86
Quadro 10 - Fase de Controle.....	88

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Temas das publicações excluídas na análise bibliográfica.....	57
Gráfico 2 - Temas das publicações incluídas na análise bibliográfica.....	58

## LISTA DE SIGLAS

5S - Senso de utilização, organização, limpeza, saúde e autodisciplina (Seiri, Seiton, Seisou, Seiketsu e Shitsuke)

APR - Árvore de Pré-requisitos

APS - *Advanced Planning & Scheduling* ou *Advanced Planning Systems*

ARA - Árvore da Realidade Atual

ARF - Árvore da Realidade Futura

AT - Árvore de Transição

CEO - *Chief Executive Officer*

CEP - Controle Estatístico do Processo

CLP - Controlador Lógico Programável

CN - Condições Necessárias

CTQ - *Critical to quality*

CTV - Custos Totalmente Variáveis

DI - Diagrama de Interferências

DMAIC - Define, Measure, Analyse, Improve, Control

DO - Despesa Operacional

DOE - Delineamento de Experimentos (*Desing of Experiments*)

DRC - Diagrama de Resolução de Conflitos

EI - Efeitos Indesejáveis

FC - Fluxo de Caixa

G - Ganho

GPP - Gerenciamento Por Processos

FCS - Fatores Críticos de Sucesso

LSS - Lean Seis Sigma

I - Inventário

ISO - *International Organization for Standardization*

iTLS - Teoria das restrições, Lean e Seis Sigma

JIT - *Just in Time*

KPI - Indicadores Chave de Desempenho (*Key Performance Indicators*)

LIB - Lean Institute Brasil

LL - Lucro Líquido  
ME - Manufatura Enxuta  
MES - *Manufacturing Execution Systems*  
MFV - Mapeamento do Fluxo de Valor  
MOI - Mapeamento dos objetivos Intermediários  
MTBF - *Medium Time Between Failure*  
MTTR - *Medium Time to Repair*  
OEE - Eficiência Global do Equipamento (*Overall Effectiveness Equipment*)  
OI - Objetivos Intermediários  
OPT - *Optimized Production Technology*  
PDCA - *Plan, Do, Check, Act*  
PPCP - Planejamento, Programação e Controle da Produção  
RFID - *Radio Frequency Identification*  
RSI - Retorno sobre o Investimento  
SDAIS - Estratégia, Projeto, Ativação, Melhoria e Sustentabilidade  
SMED - Troca rápida de ferramentas (*Single Minute Exchange of Die*)  
SI - Sistema de Informação  
SS - Seis Sigma  
STP - Sistema Toyota de Produção  
TLS - Teoria das Restrições, *Lean* e Seis Sigma  
TOC - Teoria das Restrições (*Theory of Constraints*)  
TOCLSS - Teoria das Restrições, *Lean* e Seis Sigma  
TP - *Thinking Process*  
TPC (DBR) - Tambor-Pulmão-Corda (*Drum-Buffer-Rope*)  
TPM - Manutenção Produtiva Total (*Total Productive Maintenance*)  
UIC - Ultimate Improvement Cycle  
VL - Vendas Líquidas  
WIP - *Work-in-process*

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
1.1 OBJETIVOS.....	17
1.1.1 Objetivo geral.....	17
1.1.2 Objetivos específicos.....	17
1.2 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA.....	17
1.3 MÉTODO DE PESQUISA.....	18
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	21
<b>2. REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>23</b>
2.1 MANUFATURA ENXUTA.....	23
2.1.1 Origem e Evolução.....	23
2.1.2 O pensamento enxuto.....	25
2.1.3 Ciclo de melhoria da ME.....	26
2.1.4 Ferramentas da ME.....	28
2.1.5 Medidas da ME.....	34
2.2 TEORIA DAS RESTRIÇÕES.....	35
2.2.1 Origem e evolução.....	35
2.2.2 O processo de raciocínio (TP).....	36
2.2.3 Ferramentas de estratégia de operações da TOC.....	36
2.2.4 Os cinco passos da TOC para a melhoria contínua.....	41
2.2.5 Medidas da TOC.....	45
2.3 SEIS SIGMA.....	47
2.3.1 Origem.....	47
2.3.2 O pensamento estatístico.....	49
2.3.3 O ciclo de implementação do Seis Sigma.....	50

2.3.4 Medidas do Seis Sigma .....	51
<b>3. SISTEMAS DE INFORMAÇÃO DE CHÃO DE FÁBRICA.....</b>	<b>53</b>
3.1 SISTEMAS DE EXECUÇÃO DA MANUFATURA (MES) .....	54
3.2 SISTEMAS AVANÇADOS DE PLANEJAMENTO E PROGRAMAÇÃO (APS) .....	56
<b>4. MODELOS DE INTEGRAÇÃO ENTRE MANUFATURA ENXUTA, TEORIA DAS RESTRIÇÕES E SEIS SIGMA.....</b>	<b>59</b>
4.1 MODELO DE INTEGRAÇÃO UIC.....	64
4.2 MODELO DE INTEGRAÇÃO ITLS .....	71
4.3 MODELO DE INTEGRAÇÃO TOCLSS.....	73
4.4 A INTEGRAÇÃO POR MEIO DO MODELO <i>LEAN THINKING</i> DE HINES, HOLWEG E RICH (2004).....	75
4.5 MODELO DE INTEGRAÇÃO LOOK FORWARD®.....	76
<b>5. PROPOSTA DE MODELO DE INTEGRAÇÃO DA TOC, ME E SS, UTILIZANDO MES E APS.....</b>	<b>79</b>
5.1 FASE DE PREPARAÇÃO.....	80
5.2 FASE DE PRODUÇÃO.....	83
5.3 FASE DE MELHORIA.....	86
5.4 FASE DE CONTROLE.....	87
<b>6. CONCLUSÃO .....</b>	<b>90</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>92</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Com o mercado globalizado, somente as empresas que buscam a excelência operacional conseguem se manter competitivas com os altos e baixos do mercado.

Oprime, Mendes e Pimenta (2011), por exemplo, afirmam que para isso as empresas procuram melhorar seus indicadores de qualidade e produtividade utilizando programas de melhoria contínua, baseados em modelos de gestão da qualidade e em filosofias de gestão de origem japonesa.

Assim, a prática de melhoria contínua é uma importante ferramenta estratégica para aumentar a competitividade de qualquer organização (MARIN-GARCIA; VAL; MARTIN, 2008).

De acordo com Utiyama e Godinho (2013), a comparação entre as abordagens ou filosofias, Teoria das Restrições do inglês *Theory of Constraints* (TOC), Manufatura Enxuta (ME) e Seis Sigma (SS) vem sendo realizada com a intenção de identificar qual abordagem é mais indicada para determinado tipo de situação. Essa comparação deu origem à premissa de que uma abordagem pode complementar outra, já que elas não são mutuamente exclusivas (ALUKAL, 2003; SCHWAIN, 2004).

A integração de diferentes filosofias para a obtenção de um modelo mais completo, que melhore continuamente os resultados do negócio por meio da gestão das operações, vem sendo estudada criteriosamente. Ademais, existem modelos que utilizam a integração duas a duas de ME, SS e TOC.

Segundo Snee (2010) a abordagem de integração mais encontrada é aquela que une a ME e a SS, comumente chamada de Lean Seis Sigma (LSS). Mesmo assim, a integração entre ambas não foi uma unanimidade e somente após alguns estudos as duas foram definidas como complementares.

Atualmente, a ME e a SS são tratadas como uma abordagem única, por outro lado alguns estudos apontam a integração da LSS com outras abordagens como a ISO 9001, por exemplo (KARTHI; DEVADASAN; MURUGESH, 2011).

A comparação entre a TOC e a ME é menos intuitiva, pois apesar de tratar de filosofias relacionadas à melhoria contínua, aborda diferentemente algumas técnicas para gerenciar as operações.

Utuyama e Godinho (2013) por meio de uma pesquisa bibliográfica, encontraram 33 artigos que compararam a ME e a TOC, classificando-as. Para isso, os autores consideraram que a ME, o Sistema Toyota de Produção (STP) e o *Just in time* (JIT) fazem parte da mesma abordagem, ou seja da ME e qualquer um desses nomes que podem ser comparados a TOC foi considerado.

Apesar das dissonâncias existentes entre as duas filosofias, alguns esforços para integrá-las vêm sendo realizados (DETTMER, 2001; SCHWAIN, 2004; RAMOS, 2010; WU et al., 2010; PERGHER et al., 2011; SANTOS, 2012; ANOSIKE; LIM, 2013; GODINHO FILHO; UZSOYB, 2013), ISO9001 (ALUKAL, 2006; KARTHI; DEVADASAN; MURUGESH, 2011).

Quando se trata da TOC e da SS, nota-se que não houveram muitas investidas no sentido de integrá-las. Entretanto, em todos os estudos encontrados os autores abordaram a integração das duas filosofias, defendendo a aplicação da TOC para definir onde se deve reduzir a variabilidade a fim de aumentar os ganhos da empresa (EHIE; SHEU, 2005; ALMEIDA, 2006; HUSBY, 2007; JIN et al., 2009).

A existência de modelos que integram as três abordagens é recente, portanto, ainda são raros os estudos acadêmicos empíricos que comprovam sua aplicação, havendo revisões de literatura recentes que apresentam alguns conflitos entre as três abordagens (PACHECO; ANTUNES JUNIOR, 2011; OKIMURA; SOUZA, 2012).

Pacheco e Antunes Junior (2011) integra a estratégia de produção às filosofias abordadas e Okimura e Souza (2012) examinam as sinergias e contradições entre as três abordagens.

Paralela à utilização das abordagens de melhoria contínua, o uso da tecnologia está cada vez mais presente nas indústrias. No chão de fábrica, as máquinas utilizadas por meio de Controladores Lógicos Programáveis (CLP), sistemas de comunicação sem fio como Wi-fi e rádio frequência ou *Radio Frequency Identification* (RFID) e internet tornam mais ágeis a coleta de dados e os *feedbacks* para o planejamento e programação da(s) fábrica(s).

Desta forma, o uso de alguns sistemas de informação de chão de fábrica pode trazer benefícios para a aplicação das abordagens híbridas de melhoria, e a necessidade de compreensão de como os sistemas de informação de chão de fábrica podem auxiliar a aplicação do sistema híbrido de gestão que utiliza a TOC, ME e SS.

Assim, o presente trabalho se propôs a responder a seguinte questão:

Como determinar um modelo conceitual que possa utilizar Sistemas de Execução da Manufatura (MES) e Sistemas Avançados de Programação da Produção (APS) para complementar os modelos existentes de integração da TOC, ME e SS?

## 1.1 OBJETIVOS

A partir da pergunta de pesquisa alguns objetivos foram estabelecidos.

### 1.1.1 Objetivo geral

Propor um modelo, com base no referencial teórico, que integre os sistemas MES e APS para complementar a aplicação híbrida dos modelos de integração da TOC, ME e SS encontrados.

Para alcançar o objetivo geral, foi realizado um estudo bibliográfico sobre a integração das abordagens TOC, ME e SS, com a finalidade de identificar o estado da arte sobre a integração das três filosofias.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Apresentar os principais conceitos relacionados à ME, TOC e SS e às perspectivas de integração previstas na literatura;
- Identificar os pontos positivos de se utilizar o MES e o APS para complementar o modelo integrado;
- Utilizar um sistema híbrido para sequenciamento e programação da produção.

## 1.2 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

A busca para aumentar, cada vez mais, a qualidade e a produtividade a fim de alavancar os ganhos financeiros das empresas é inegavelmente incessante e necessária para a sustentabilidade destes fatores em mercados competitivos. Diante disto, muitas empresas buscam abordagens de melhoria contínua, que já deram

certo em outras empresas, para apoiar suas decisões e aumentar sua competitividade.

O uso integrado de técnicas de gestão vem sendo discutido por alguns autores em literaturas de Engenharia de Produção (PACHECO; ANTUNES JUNIOR, 2011), sendo que as três principais disciplinas de melhoria contínua são: Manufatura Enxuta (ME), Seis Sigma (SS) e Teoria das Restrições (TOC) (JACOB, BERGLAND E COX, 2009).

Conforme análise realizada, com base nos modelos que são apresentados no capítulo quatro, não foi possível identificar a utilização do MES para a coleta de dados do chão de fábrica, nem do APS para a realização da programação e sequenciamento de ordens de produção. Além disso, havia uma *trade-off* referente à utilização do *kanban* e do TPC (Tambor-Pulmão-Corda) de forma híbrida que já havia sido levantada por Pacheco e Antunes Junior (2011) ao tentar integrar apenas a TOC e a ME. Ademais, nenhum dos modelos encontrados propôs alternativas para minimizar esse conflito.

O modelo proposto neste estudo uniu o MES e o APS aos modelos integrados utilizando ME, TOC e SS, além de investigar a possibilidade de utilizar um sistema híbrido para sequenciamento da produção.

Por essas razões, este trabalho pretendeu contribuir com pesquisas na área de Engenharia de Produção, mais precisamente no setor industrial e acadêmico, pois a integração de ME, TOC e SS busca incrementar os sistemas híbridos de melhoria contínua para tornar os processos industriais cada vez mais robustos, com ganhos mais altos, processos mais enxutos e com maior previsibilidade.

### 1.3 MÉTODO DE PESQUISA

A presente pesquisa teve como embasamento teórico a manufatura enxuta, a teoria das restrições e a estratégia seis sigma.

De acordo com Miguel (2012), a fundamentação teórica é uma visão crítica da pesquisa existente, que é significativa para o trabalho que está sendo desenvolvido.

Ainda no que tange a base teórica, foi realizada uma pesquisa sobre os Sistemas Avançados de Planejamento e Programação da Produção e Sistemas de

Execução da Manufatura, conhecidos como APS (*Advanced Planning and Scheduling*) e MES (*Manufacturing Execution System*), respectivamente.

No que se refere à natureza qualitativa e exploratória do trabalho proposto, esta pode ser caracterizada como revisão bibliográfica e análise de documentos.

Segundo Nakano (2000), pesquisas de natureza qualitativa buscam uma aproximação entre a teoria e os fatos, por meio da descrição e interpretação de episódios isolados ou únicos.

Para obter informações sobre o estado da arte da utilização integrada das abordagens ME, TOC e SS, foi realizada uma pesquisa bibliográfica com base nas seguintes palavras-chave: *Theory of Constraints*, *Six Sigma* e *Lean Manufacturing*, em inglês e português, simultaneamente. Para o último termo também foram pesquisadas as variações *Lean Production* e *Toyota Production System*.

Em relação às bases de pesquisa, neste estudo foram utilizadas a *Proquest*, *Ebsco*, Portal de Periódicos da Capes, *Science Direct* e *Google Acadêmico*. Como resultado, apareceram 907 publicações dentre artigos acadêmicos e comerciais, livros ou capítulos de livros, monografias, dissertações e teses. Estes resultados foram considerados úteis para conhecer a relação entre ME, TOC e SS. Para que um trabalho fosse considerado elegível para participar das referências bibliográficas, a variável principal analisada foi o “tema”, ademais para a realização desta seleção foram desconsideradas as publicações que:

- somente citavam as três abordagens como sendo filosofias de melhoria contínua, sem abordar nada a mais sobre o assunto, ou seja, estas foram consideradas como “não aderente ao tema”;
- apareceram mais de uma vez, pois foram consideradas a partir da segunda como “repetidas”;
- apareciam apenas, nas referências bibliográficas, o nome das três filosofias, ou seja, foram consideradas como “somente citações”;
- falavam somente de uma das três abordagens, citando as outras duas apenas uma vez, como sendo outras possíveis abordagens de melhoria;
- foram citadas apenas na parte introdutória do trabalho;

- utilizavam termos que apareciam somente nas referências bibliográficas, principalmente utilizando o quadro comparativo de Nave (2002), que pode ser visto no Quadro 1, a seguir.

**Quadro 1** - Comparação entre Seis Sigma, Manufatura enxuta e Teoria das restrições

<b>Abordagem</b>	<b>Seis Sigma</b>	<b>Manufatura Enxuta</b>	<b>Teoria das Restrições</b>
<b>Teoria</b>	Redução de variação	Eliminação de desperdício	Gerenciamento de restrições
<b>Diretrizes de aplicação</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Definir;</li> <li>2. Medir;</li> <li>3. Analisar;</li> <li>4. Melhorar;</li> <li>5. Controlar.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Identificar valor;</li> <li>2. Identificar fluxo de valor;</li> <li>3. Fluxo;</li> <li>4. Puxar;</li> <li>5. Perfeição.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Identificar a restrição;</li> <li>2. Explorar a restrição;</li> <li>3. Subordinar processos;</li> <li>4. Elevar a restrição;</li> <li>5. Repetir ciclo.</li> </ol>
<b>Foco</b>	Foco no problema.	Foco no fluxo.	Foco na restrição.
<b>Pressupostos</b>	Um problema existe; Figuras e números podem ser valorizados; Sistemas de produção melhoram se a variação em todos os processos for reduzida.	Redução dos desperdícios melhora a performance do negócio; Pequenas melhorias são melhores que a análise de sistemas.	Ênfase na velocidade e no volume; Uso de sistemas existentes; Processos interdependentes.
<b>Efeito primário</b>	Saída do processo uniforme.	Redução do tempo de fluxo.	Processamento rápido.
<b>Efeitos secundários</b>	Menos desperdício; Processamento rápido; Menos inventário; Flutuação - medidas de desempenho gerenciais; Melhoria da qualidade.	Menos variação; Saída uniforme; Menos inventário; Novo sistema contábil; Fluxo - medidas de desempenho gerenciais; Melhoria da qualidade.	Menos inventário/ desperdício; Mudança no sistema contábil; Rendimento - sistema de medição de desempenho.
<b>Criticismos</b>	Sistemas de interação não considerados; Processo de melhoria interdependentes.	Estatísticas ou sistemas de análise não valorizados.	Entrada mínima de trabalhadores; Análise de dados não valorizados.

Fonte: Nave (2002)

Após análise, foi possível identificar que os modelos encontrados não mencionavam os sistemas de informação relacionados ao planejamento e programação da produção e a coleta de informações do chão de fábrica, como partes importantes para apoiar a abordagem integrada. Diante disto, surgiu a ideia de propor um modelo conceitual que utilizasse partes dos modelos de integração da

TOC, ME e SS encontrados na revisão, com os sistemas de planejamento avançados de produção e sistemas de execução da manufatura.

Para Berto e Nakano (2000), modelagens conceituais são baseadas na percepção e experiência do autor.

Além disso, os modelos conceituais explicam graficamente os fatores chave, construtos ou variáveis do estudo e identifica as possíveis relações entre eles (Miles; Huberman, 1994 apud MORA JUNIOR; LIMA, 2009).

Para Meredith (1993), um modelo conceitual utiliza várias publicações sobre um determinado assunto e o condensa, ou seja, resume as semelhanças, aponta ou exclui as diferenças e adiciona novas ideias ao trabalho.

Para a realização do modelo conceitual foram utilizados somente os modelos encontrados na literatura que tinham como assunto principal a manufatura, pois os conceitos de MES e APS não são aplicados no setor de serviços e projetos.

A pesquisa sobre MES e o APS foi realizada com base nos portais de periódicos Capes, *Proquest* e *Science Direct*, filtrando apenas periódicos revisados por pares. Como referência bibliográfica, também foram utilizados livros específicos sobre os temas.

Desta maneira, é possível afirmar que, metodologicamente, a presente pesquisa, de natureza qualitativa e exploratória, utilizou uma abordagem teórica/conceitual, sendo a pesquisa bibliográfica, o meio pelo qual realizou-se a coleta de dados para a criação de um modelo conceitual baseada na percepção e experiência do autor.

#### 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho foi estruturado em seis capítulos. O primeiro trata da contextualização, ou seja, são apresentados os objetivos, a justificativa, a metodologia adotada para a realização desta pesquisa e a estrutura proposta para o desenvolvimento deste estudo.

O capítulo 2, apresenta a origem, a evolução, os ciclos de pensamento e as principais ferramentas e medidas de desempenho utilizadas pela manufatura enxuta, teoria das restrições e seis sigma, respectivamente.

O capítulo 3, por sua vez, trata dos sistemas informatizados que auxiliam o chão de fábrica no planejamento, programação, coleta de informações de produção e sequenciamento das ordens de programação.

No capítulo 4 são apresentados e analisados os modelos encontrados na literatura, que tratam da integração entre ME, TOC e SS.

Já no capítulo 5, propõe-se um modelo conceitual para a integração da ME, TOC e SS, utilizando o APS e o MES como elementos tecnológicos de apoio na utilização do modelo híbrido de sequenciamento da produção.

Por fim, no capítulo 6 apresentam-se as considerações finais sobre o estudo realizado.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo está dividido em três subcapítulos, nos quais serão tratados os principais temas abordados neste estudo, que são: ME, TOC e SS.

Para cada um dos temas, foram apresentados a origem, a evolução, os modelos de pensamento, os ciclos de melhoria, as ferramentas e os principais indicadores utilizados.

### 2.1 MANUFATURA ENXUTA

O termo Manufatura Enxuta (ME) ou *Lean Manufacturing* foi difundido no ocidente por Womack et al. (2004), para descrever as técnicas de manufatura utilizadas pela Toyota Motor Company, nos últimos 100 anos. Internamente, a Toyota denomina essa forma de produzir de Sistema Toyota de Produção (STP) (STONE, 2012).

A ME é uma filosofia de gestão de operações que possui o objetivo de eliminar desperdícios por meio da melhoria do fluxo do processo.

Segundo Stone (2012), após quatro décadas, foi possível dividir a ME em quatro fases distintas: Descoberta (1970-1990), Disseminação (1991-1996), Implementação (1997-2000), Empresa (2001-2005) e Execução (2006-2009).

#### 2.1.1 Origem e Evolução

A filosofia japonesa de gestão foi citada, academicamente, pela primeira vez no ocidente por Drucker (1971), entretanto não se tratava de um estudo específico do tema, embora citasse a influência dos métodos de gestão orientais sobre os ocidentais.

O primeiro a citar a filosofia da Toyota especificamente, foi Sugimori et al. (1977) que com base no artigo sobre o sistema *kanban*, mostrou as vantagens da filosofia por meio de alguns indicadores de desempenho da Toyota frente a três montadoras de veículos: americana, sueca e alemã.

Após uma década, o termo *lean* foi citado pela primeira vez em um artigo acadêmico denominado *Triumph of the lean production system* (KRAFCIK, 1988). Atualmente o autor deste estudo é o presidente e CEO da Hyundai nos Estados Unidos. Neste mesmo ano, Ohno (1988) escreveu o livro “Toyota production system”.

Shigeo Shingo foi um engenheiro japonês considerado um “gênio” por ser um dos criadores do STP juntamente com Taichii Ohno. Shingo escreveu duas obras sobre o STP em 1988 e 1989. Em 1990, James Womack escreveu o *best seller* “A máquina que mudou o mundo”, no qual utilizou o termo “*Lean Production*” para mostrar o trabalho realizado nos últimos cinco anos pelo *International Motor Vehicle Program* (IMVP) do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) focado nas diferenças de fabricação de automóveis em meados dos anos 70.

De acordo com Stone (2012) a partir de 1990, inicia-se a fase de divulgação da filosofia *lean*, denominada “Fase de Disseminação”. Com isso, uma série de artigos acadêmicos e livros foram lançados desde então.

Após a apresentação do STP no ocidente, as indústrias automobilísticas passaram a decifrar e utilizar as técnicas descritas nas décadas anteriores em sua cadeia produtiva. Nesta época, surgiram alguns estudos sobre a influência motivacional da manufatura enxuta sobre os trabalhadores (STONE, 2012).

Nesta fase, Womack foi a grande referência na literatura sobre o tema cunhando os termos “Pensamento Enxuto” e “Empresa Enxuta” (WOMACK et. al, 1994; WOMACK, 1996).

A partir deste período, a ME passou a ser observada internacionalmente pela academia, dando início a uma série de estudos empíricos, não somente nas indústrias automotivas, mas em outros tipos de manufaturas. Deste modo, começou a ser formada uma base sólida de conhecimento teórico do pensamento enxuto, bem como seus efeitos (STONE, 2012).

Assim, alguns autores passaram a valorizar a transformação das empresas de produção em massa para produção enxuta, bem como a evolução do conceito de produção enxuta para “Empresa Enxuta” (STONE, 2012).

Ainda de acordo com o autor, com o forte apoio da série “Aprendendo a enxergar” (Rother e Shook, 1999), a ME continuou a ganhar força a partir da virada do milênio, entretanto, deixou de ser uma filosofia exclusiva do chão de fábrica,

fazendo com que os esforços da ME começassem a invadir outros departamentos da empresa, como: desenvolvimento de produtos, marketing, vendas, atendimento ao cliente, contabilidade etc. Nesta fase, iniciaram-se as tentativas de relacionar medidas de desempenho com a organização *lean*.

Com o crescimento da *Toyota Motors Company*, que em 2006 passou a ser a maior empresa automobilística do mundo, desbancando a *General Motors*, os ex-funcionários da Toyota passaram a publicar livros mostrando as práticas internas da companhia, e outros autores escreveram diversos artigos empíricos tentando reproduzir o sucesso obtido pela Toyota (STONE, 2012).

Por meio da análise bibliográfica, foi possível identificar que embora tenham sido encontrados artigos e trabalhos acadêmicos utilizando um sistema híbrido entre *lean* e outras filosofias por volta do ano de 2000, somente a partir de 2009 a frequência destas publicações começaram a aumentar, além de surgir diferentes modelos de integrações. Diversos autores começaram a integrar e comparar o *lean* com outras filosofias de gestão da produção, da qualidade e da melhoria contínua como *Total Quality Management* (HO, 2010; TATSANA-IAM; ENGAOPRASERTWONG, 2013), Seis Sigma (BENDEL, 2006; NASLUND, 2008; DROHOMERETSKI, 2013), TOC (DETTMER, 2001; SCHWAIN, 2004; RAMOS, 2010; WU et al. 2010; PERGHER et al., 2011; SANTOS, 2012; ANOSIKE e LIM, 2013; GODINHO FILHO E UZSOYB, 2013), ISO 9001 (ALUKAL, 2006; KARTHI, DEVADASAN E MURUGESH, 2011), dentre outros.

Segundo Lidell (2008), é possível perceber a forte influência da tecnologia na manufatura utilizando a ME como integradora da implementação de diversos sistemas como softwares de planejamento da produção (APS) e de acompanhamento do desempenho dos equipamentos para melhoria contínua (MES). Desta forma, pode-se considerar que a partir de 2009 a ME entra na “Fase de Integração”.

### 2.1.2 O pensamento enxuto

O pensamento enxuto ou *lean thinking* é uma forma de pensar nas operações, no sentido de eliminar do processo o que não for visto como valor pelo cliente. Isto é,

a ME entende tudo o que não for considerado de valor pelo cliente, como *muda*, por exemplo, que significa desperdício em japonês (WOMACK; JONES; ROOS, 2004).

Para Salgado et al. (2009), o pensamento enxuto é uma forma de fazer cada vez mais com cada vez menos, ou seja, menos esforço humano, equipamento, tempo e espaço e, ao mesmo tempo, oferecer aos clientes exatamente o que eles desejam, no momento que eles desejam e a um preço justo.

Em um processo, há atividades que agregam ou não um valor. O pensamento enxuto foca suas atividades para eliminar ou reduzir tudo o que não for de valor para o cliente, tornando assim os processos mais enxutos. A ME realiza essa eliminação de desperdícios com base no ciclo de melhoria e na aplicação de ferramentas para a eliminação de desperdício, conforme apresentado, a seguir.

### 2.1.3 Ciclo de melhoria da ME

O ciclo de melhoria da ME tem como base o pensamento enxuto apresentado anteriormente, que pode ser entendido da forma como apresenta-se na Figura 1:

**Figura 1 - Ciclo de melhoria da ME**



Fonte: Adaptado de Lean Institute Brasil, 2000.

De acordo com o Lean Institute Brasil (2000), o ciclo de melhoria da ME também pode ser conhecido como os “5 princípios da Mentalidade Enxuta, conforme se segue:

**i. Valor:** consiste em definir o que é Valor. Diferente do que muitos pensam, não é a empresa, e sim o cliente quem define o que é valor. Para ele, a necessidade gera o valor e cabe às empresas determinarem qual é essa necessidade, procurar satisfazê-la e cobrar por isso um preço específico, a fim de manter a empresa no negócio e aumentar seus lucros por meio da melhoria contínua dos processos, da redução de custos e da melhoria da qualidade.

**ii. Fluxo de valor:** significa dissecar a cadeia produtiva e separar os processos em três tipos: aqueles que efetivamente geram valor; aqueles que não geram valor, mas são importantes para a manutenção dos processos e da qualidade; e, por fim, aqueles que não agregam valor, devendo ser eliminados imediatamente. Apesar de continuamente olharem para sua cadeia produtiva, as empresas continuam a focalizar nas reduções de custos não acompanhadas pelo exame da geração de valor. Elas olham apenas para números e indicadores a curto prazo, ignorando os processos reais de fornecedores e revendedores, sendo que deveriam olhar para todo o processo, desde a criação do produto até a venda final (aliás, inclusive, até a pós-venda).

**iii. Fluxo contínuo:** propõe-se a dar "fluidez" para os processos e atividades que restaram. Isso exige uma mudança na mentalidade das pessoas. É necessário deixar de lado a ideia de gestão departamentalizada como a melhor alternativa. Constituir fluxo contínuo com as etapas restantes é uma tarefa difícil do processo, mas também, a mais estimulante. O efeito imediato da criação de fluxos contínuos pode ser sentido na redução dos tempos de concepção de produtos, de processamento de pedidos e estoques. Ter a capacidade de desenvolver, produzir e distribuir rapidamente proporciona ao produto uma "atualidade", ou seja, a empresa pode atender a necessidade dos clientes quase que instantaneamente.

**iv. Produção Puxada:** Permite inverter o fluxo produtivo, isto é, as empresas não mais empurram os produtos para o consumidor (desovando estoques) por meio de descontos e promoções. O consumidor passa a puxar o fluxo de valor, reduzindo a necessidade de estoques e valorizando o produto. Sempre que não se consegue estabelecer o fluxo contínuo, conectam-se os processos com base nos sistemas puxados.

**v. Perfeição:** o quinto e último passo para a ME, deve ser o objetivo constante de todos os envolvidos nos fluxos de valor. A busca pelo aperfeiçoamento contínuo rumo a um estado ideal deve nortear todos os esforços da empresa em processos transparentes, em que todos os membros da cadeia (montadores, fabricantes de diversos níveis, distribuidores e revendedores) tenham conhecimento profundo do processo como um todo, podendo dialogar e buscar continuamente melhores formas de se criar valor.

Apesar do conceito, apresentado pelo *Lean Institute*, abordar todas as partes da cadeia de abastecimento, o presente estudo tratou apenas das interações internas do processo de manufatura, olhando externamente para identificar o que é valor para o cliente.

#### 2.1.4 Ferramentas da ME

Para cada um dos passos da ME, são identificadas algumas ferramentas necessárias para a aplicação da filosofia abordada, que são apresentadas rapidamente neste estudo. Antes de apresentá-las, torna-se necessário citar as principais formas de não agregação de valor conforme a abordagem da ME, conhecida pela filosofia japonesa como *muda* (WOMACK; JONES, 1994).

Existem sete tipos de desperdícios: superprodução, espera, transporte, superprocessamento, estoque, movimento e defeitos.

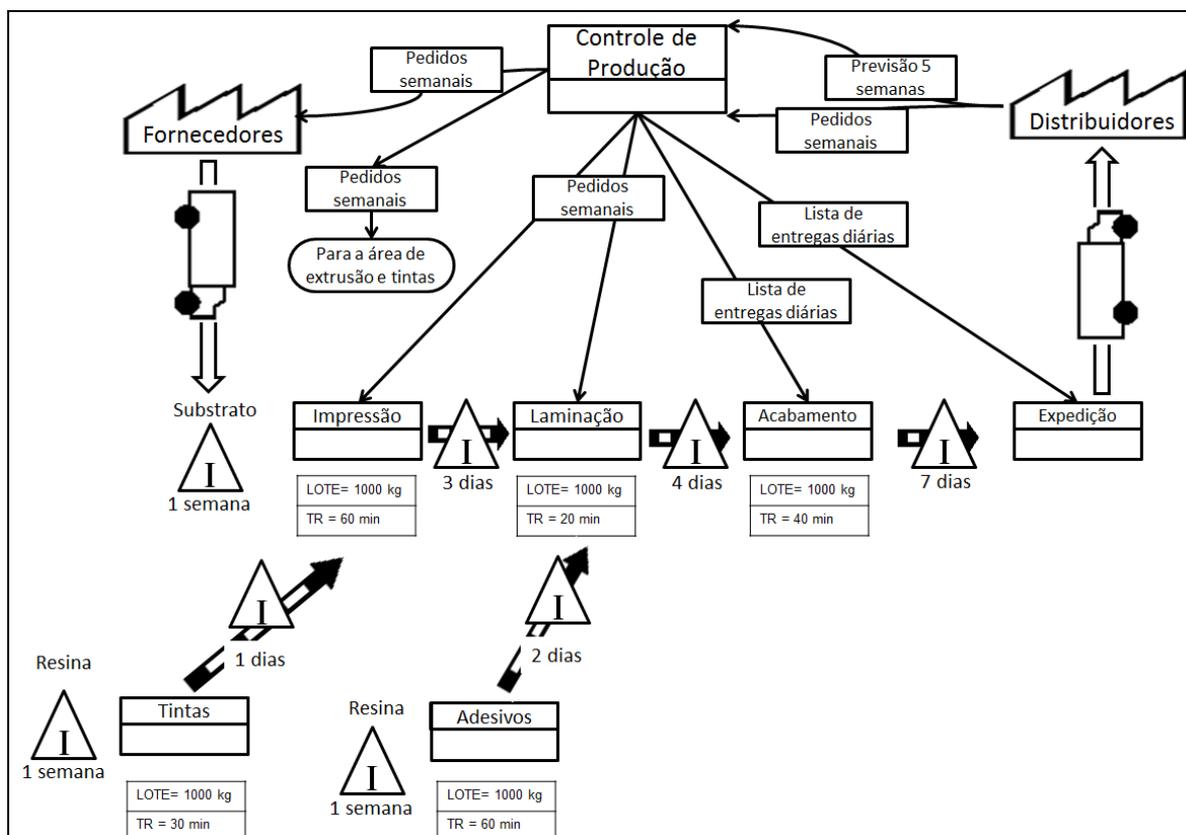
Conhecendo os principais desperdícios, é possível entender ferramentas cruciais abordadas pelas ME:

##### a. Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV)

Utilizado nos três primeiros passos do ciclo, o Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV) é uma maneira simples de os gestores verem o fluxo de valor, o que foi apresentado no livro "Aprender a enxergar" (ROTHER E SHOOK, 1998).

O MFV possui suas figuras muito bem definidas, tornando-o conhecido para qualquer um que o analise. Primeiramente deve ser realizado o MFV atual por linha de produto, e essa escolha deve ser realizada de forma sistêmica, ou seja, avaliando qual linha de produto merece esforços de melhoria neste momento para que possa trazer resultados significativos nos próximos meses. As melhorias devem ser escritas no MFV atual de acordo com os princípios de eliminação de desperdícios conhecidos na seção anterior. Após a criação do MFV atual, desenha-se o MFV futuro, que mostra como a empresa deseja estar após a implementação das melhorias. Na Figura 2, a seguir, apresenta-se um exemplo de MFV.

**Figura 2 - Exemplo de Mapeamento de Fluxo de Valor**



Fonte: Adaptada de Rother e Shook, 2003.

De acordo com Ferro (2005), após a implementação das melhorias, o MFV futuro passa a ser o MFV atual e essa deve ser a dinâmica da melhoria contínua.

No próximo capítulo, são apresentadas as medidas de desempenho que devem ser observadas durante a criação dos MFVs.

#### b. 5S e Gestão Visual

A Gestão Visual é um sistema que permite obter visualmente informações sobre o estado dos processos nas diferentes áreas de produção da empresa, tornando a produção transparente, pois qualquer responsável ou operário pode enxergar a situação da produção (ROCHA, ALVES E BRAGA, 2011).

Segundo o Lean Institute Brasil (2000), o gerenciamento visual é “a colocação, em local fácil, de ver de todas as ferramentas, peças, atividades de produção e indicadores de desempenho do sistema de produção, de modo que a situação do sistema possa ser entendida rapidamente por todos os envolvidos”.

Já os 5S são definidos pelo Lean Institute Brasil (2000) como os cinco termos relacionados que começam com a letra S, que descrevem práticas para o ambiente de trabalho, úteis para a gestão visual e para a produção lean. Os cinco termos em japonês são:

1. *Seiri*: Separação dos itens necessários dos desnecessários - ferramentas, peças, materiais, documentos - descartando estes últimos;
2. *Seiton*: Organização do que sobrou, definindo um lugar para cada coisa e colocando-a em seu lugar.
3. *Seiso*: Limpeza.
4. *Seiketsu*: Padronização resultante do bom desempenho nos três primeiros S.
5. *Shitsuke*: Disciplina para manter em andamento os quatro primeiros S.

Tentativas de aplicação de programas 5S são realizadas em diversos setores da economia, independente da aplicação da filosofia de ME. Essa aplicação é normalmente realizada quando se deseja organizar uma empresa ou um determinado setor, devido a falta de organização ou limpeza de alguém do nível estratégico. Entretanto, se o trabalho padronizado não for colocado em prática para

que se haja auditorias até que a disciplina se incorpore ao dia-a-dia de trabalho das pessoas, o programa tenderá a falhar.

### c. *Kanban*

O *kanban* é uma forma de sequenciar a produção por meio de cartões, utilizada pela ME para estabelecer o sistema de produção puxada com base na filosofia *Just in time* (JIT).

Dennis (2008) afirma que o papel do sistema JIT é produzir o item necessário na hora e na quantidade necessária.

Na literatura, a maior parte dos estudos apresenta o JIT e o *Kanban* simultaneamente.

Ahmed (2014), por exemplo, realizou uma revisão sobre o JIT que revelou ser o estado da arte sobre o assunto.

Este sistema é aplicado para evitar que haja uma superprodução, o que é considerado como o pior dos desperdícios, por ser o principal gerador dos demais.

Para Sugimori et al. (1977), as razões para se empregar o sistema *kanban* no lugar de um sistema informatizado, são os seguintes:

1. Redução do custo de processamento de informações: as empresas precisam investir alto para implementar um sistema que forneça programação de produção para todos os processos e fornecedores, bem como suas alterações e ajustes por controle de tempo real;

2. Aquisição rápida e precisa dos fatos: utilizando-se do *Kanban*, os gestores dos centros de trabalho podem observar a mudança dos acontecimentos em tempo real, como a capacidade de produção, taxa operacional e a força de trabalho sem o auxílio de um computador;

3. Fatores que limitam a capacidade de processos precedentes: uma vez que uma indústria automotiva consiste em processos de múltiplos estágios, geralmente os processos posteriores têm mais irregularidades, e isso faz com que os processos anteriores gerem produção para uma demanda que não existe.

Apesar do sucesso utilizado pelo sequenciamento da produção por meio de cartões, a utilização de computadores e sistemas aplicados não mais significa que a empresa dispense de altos investimentos de capital (ERHART; FAÉ, 2011).

Diante disso, vale a pena rever as vantagens atuais de se obter um sistema de sequenciamento de produção computadorizado.

A substituição dos cartões físicos por informações eletrônicas para utilização do método de sequenciamento *Kanban* vem sendo chamada na literatura de *e-Kanban* ou *Kanban* eletrônico (WAN E CHEN, 2008; BENDAVID; BOECK; PHILIPPE, 2010; LAGE JUNIOR; GODINHO FILHO, 2010; IWASE; OHNO, 2011; WANG et al., 2011; PETTERSEN; SEGERSTEDT, 2009; MATSUI, 2007; WHITE, 2001; WAN; CHEN, 2009; ROTH; FRANCHETTI, 2010; POWELL, 2013; POWEL; SKJELSTAD, 2012; AZEVEDO; CARVALHO, 2012; HADAYA; CASSIVI, 2007; RIEZEBOS; KLINGENBERG, 2009).

Com base nestes autores, as principais vantagens na utilização de *Kanbans* eletrônicos, em relação aos cartões tradicionais, são:

- ✓ redução da necessidade de recalcular a quantidade de *Kanbans* manualmente;
- ✓ integração com o ERP, analisando a demanda e alterando a quantidade de *e-Kanbans* quando necessário;
- ✓ visibilidade total da planta;
- ✓ a condição dos operadores esquecerem *kanbans* no bolso é eliminada;
- ✓ possibilidade de utilizar gestão visual por meio de painéis, televisores, PCs ou *smartphones*;
- ✓ supressão da necessidade de movimentação do homem para levar os cartões.

Para a ME, a utilização de *Kanban* é uma ferramenta fundamental para que se haja produção puxada. Entretanto, é possível utilizá-lo com outras ferramentas de programação da produção de forma híbrida (SOUZA et al, 2002).

#### d. *Single Minute Exchange of Die* (SMED)

O SMED é a técnica utilizada pela ME para reduzir o tempo de preparação das máquinas (*setup*). Esta técnica separa as operações de *setup* em duas partes: *setup* interno (SI) e *setup* externo (SE), sendo que a primeira diz respeito às operações que são realizadas após a parada da máquina e segunda trata das

operações que são realizadas quando a máquina ainda está em operação (SHINGO, 1985).

De acordo com Shingo (2000), o objetivo é que a troca de ferramentas seja efetuada no prazo máximo de 9 minutos e 59 segundos.

A aplicação das ferramentas é muito utilizada e difundida devido a sua capacidade intuitiva e a facilidade de se medir os ganhos. A validação desta afirmação é retratada nas pesquisas realizadas nas principais bases de dados, como por exemplo, nos Periódicos da Capes, cujo estudo foi feito com base na frase “Single Minute Exchange of Die”, tendo como referência publicações realizadas após o ano de 2000, tratando-se apenas de periódicos revisados por pares. Por meio desta pesquisa, encontrou-se um relevante número de publicações, sendo em sua maioria estudos de casos (MOREIRA; PAIS, 2011; NEUMANN; RIBEIRO, 2004; MARUDHAMUTHU; KRISHNASWAMY; PILLAI, 2011; GRZYBOWSKA; GAJDZIK, 2012; KUMAR; ABUTHAKEER, 2012; SINGH; KHANDUJA, 2010; SUGAI, MCINTOSH; NOVASKI, 2007; PATEL; DALE; SHAW, 2001; MCINTOSH et al., 2007).

Para este estudo, a relevância desta ferramenta é a aplicação sistemática para a redução de desperdício com o tempo de *setup* nas operações restritivas.

#### d. *Total Productive Maintenance* (TPM)

A abordagem utilizada pela ME para melhorar a eficiência dos ativos da organização, por meio da redução de quebras de máquinas a fim de se obter zero quebra, é a Manutenção Produtiva Total ou *Total Productive Maintenance* (TPM) (NAKAJIMA, 1988).

Cesarotti e Spada (2009) afirmam que a TPM é uma ferramenta voltada principalmente para as operações, processos de produção e manutenção, mas também para alguns aspectos culturais e estruturais, como a capacitação, o comprometimento e o treinamento, construindo assim os aspectos culturais e metodológicos da abordagem sistêmica.

Assim como o 5S, o TPM é uma abordagem que auxilia na disciplina e na mudança cultural das organizações, além dos objetivos explícitos da própria filosofia.

### e. Heijunka

*Heijun-ka* é uma palavra japonesa que significa nivelamento. É um dos principais pilares da ME e foi criado para evitar que hajam picos e vales muito na produção, facilitando o planejamento da produção e de recursos. É o método o qual se reduz ao máximo a variância das quantidades produzidas, para otimizar os recursos necessários (ARAÚJO, 2009).

#### 2.1.5 Medidas da ME

Os indicadores de desempenho utilizados na ME estão diretamente ligados aos seus reais objetivos, que são: a melhoria no fluxo e a redução de desperdícios. Desta forma, as medidas de desempenho provêm destes objetivos, bem como dos meios para consegui-los, que são as ferramentas.

Rother e Harris (2001) propõem medir o *Work-In-Process* (WIP), o *Lead Time* e o tempo de processamento para avaliar o tempo de agregação de valor de uma determinada linha de produto ao criar o MFV. Os mesmos autores utilizam uma medida para sincronizar o ritmo das vendas a um processo puxador: o *Takt Time*, que deve ser comparada ao tempo de ciclo, cuja relação deverá ser um indicador da necessidade de mais ou menos mão-de-obra em cada setor.

Alvares e Antunes Jr. (2001) definem o *Takt Time* como “o ritmo de produção necessário para atender a um determinado nível considerado de demanda, dadas as restrições de capacidade da linha ou célula”.

$$\text{“takt time”} = \frac{\text{tempo de trabalho disponível por turno}}{\text{demanda do cliente por turno}}$$

Outra medida relacionada à ME é o *Overall Equipment Effectiveness* (OEE).

Segundo Nakajima (1988), considerado o criador do TPM e do OEE, a medição OEE é uma forma eficaz de se analisar a eficiência de uma única máquina ou de um sistema integrado. Este indicador é calculado em função da multiplicação das taxas de disponibilidade, desempenho e qualidade, ademais a melhoria global é realizada ao se diminuir as perdas do processo.

Gupta e Garg (2012) explicam que o número desejável para o OEE é 85%. Este valor é resultado da multiplicação das taxas de disponibilidade de 90,0%, do desempenho de 95,0% e da qualidade de 99,9%. No modelo que será apresentado no capítulo 5, o OEE é a principal medida para medir a eficiência da operação restrição.

## 2.2 TEORIA DAS RESTRIÇÕES

A teoria das restrições é uma forma de pensar o negócio a partir da física, ou seja, parte-se do princípio de que todo sistema possui um elo mais fraco e para fortalece-lo é preciso que este elo seja melhorado, pois desta forma, o sistema não sofrerá nenhuma alteração. Com base nestas premissas, foi desenvolvida uma teoria para ajudar as empresas a aumentarem sua lucratividade (GOLDRATT; COX, 2003).

Assim, são apresentados, a seguir, os pontos mais importantes da TOC, por serem indispensáveis para as discussões relacionadas à integração com a ME e com o SS. Ademais, apresentam-se também a origem e a evolução da TOC, bem como o seu processo de raciocínio, as ferramentas para estratégia de operações, os cinco passos para a melhoria contínua e, por fim, os principais indicadores utilizados pela TOC.

### 2.2.1 Origem e evolução

Segundo Kopak (2003), na década de 1970, Goldratt desenvolveu, em Israel, um software de programação, baseado na capacidade finita, que denominou de *Optimized Production Technology* (OPT). O sistema se baseia no método de programação conhecido como Tambor-Pulmão-Corda (TPC).

O OPT evoluiu para os conceitos atuais da TOC. Além disso, Goldratt e Cox escreveram um livro, sobre este assunto, que se tornou um *best seller* da administração da produção, após 30 anos de sua escrita (KIM; MABIN; DAVIES, 2008)

Muitos livros foram escritos sobre a TOC após o sucesso de “A meta”. Em 1994, Goldratt publicou a obra “Não é sorte”, em 1996 publicou a “Corrente crítica”,

em 2001 lançou “Necessário, mas não suficiente”, em 2008, “The choice” que ainda não tem versão em Português e em 2009 publicou “Não é óbvio”. Além destas publicações, Goldratt escreveu outras como, “A corrida”, “O que é essa coisa chamada TOC?” e a “Síndrome do parrelheiro”, no qual aplica a TOC em diversas áreas da empresa, como distribuição e marketing, e até mesmo na vida pessoal. Apesar do sucesso dos demais, a Revista *Time* afirmou, em 2011, que o livro “A meta” está entre as 25 obras mais importantes sobre gestão (GROSSARD; CRISTOVÃO, 2014).

### 2.2.2 O processo de raciocínio (TP)

Os processos de raciocínio, do inglês *Thinking Process* (TP), foram criados por Goldratt para eliminar os pressupostos errôneos existentes sobre o tema, identificados por ele, quando começou a trabalhar com administração da produção.

Sellito (2005) entende que os processos de pensamento incorporam as bases do pensamento sistêmico, sendo uma alternativa de análise sistêmica dos fenômenos organizacionais.

Para Goldratt (2004), o TP procura responder 3 perguntas:

- ✓ O que mudar?;
- ✓ Para o que mudar?; e
- ✓ Como ocasionar a mudança?

Para responder estas perguntas, a TOC utiliza cinco ferramentas estratégicas apresentadas a seguir.

### 2.2.3 Ferramentas de estratégia de operações da TOC

A TOC possui algumas ferramentas estratégicas baseadas na lógica de processos de causa e efeito, que analogamente são nomeadas com árvores e nuvens e que servem para nortear a implementação do pensamento sistêmico, visualizando a situação atual e o que se deve fazer para chegar na situação desejada (KIM; MABIN; DAVIES, 2008).

### i. Árvore da Realidade Atual (ARA)

A ARA é uma ferramenta baseada na lógica usada para identificar e descrever as relações de causa e efeito que podem ajudar a determinar os problemas fundamentais que causam os Efeitos Indesejáveis (EI) do sistema (COX et al., 2003).

A ARA é projetada para responder a seguinte pergunta – o que mudar? – Esta ferramenta é especialmente eficaz se a restrição é uma política, em oposição a uma limitação física do sistema existente (KIN; MABIN; DAVIES, 2008).

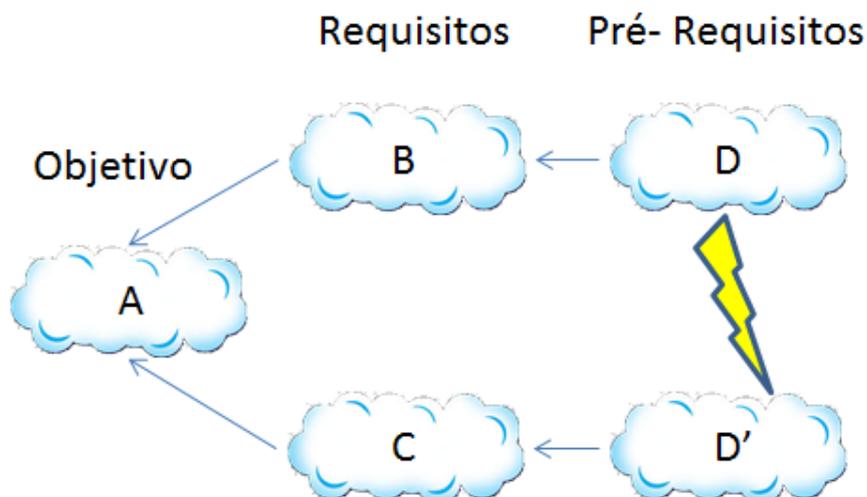
Ainda de acordo com Cox et al. (2003), a ARA é um tipo de fluxograma que retrata as relações de causa e efeito que existem no objeto de interesse. É normalmente construída por meio de uma abordagem do tipo *storyboard*, começando com uma listagem dos efeitos a serem corrigidos.

### ii. Diagrama de Resolução de Conflitos (DRC)

O Diagrama de Resolução de Conflitos (DRC) é conhecido também como Diagrama de Evaporação de Nuvem, devido a sua possível forma construtiva, que poderá ser observada na Figura 3.

Segundo Goldratt (2003) o DRC é apropriado para situações em que há um antagonismo entre duas partes envolvidas, ou seja, duas ideias ou dois pontos de vista, da mesma pessoa ou entre pessoas ou entidades diferentes. É um método para examinar, objetivamente, o conflito e buscar uma situação "ganha-ganha".

**Figura 3** - Diagrama de Evaporação de Nuvem ou Diagrama de Resolução de Conflitos



Fonte: Adaptada de Cox e Spencer (1998)

As setas devem ser lidas como “para que”, “porque” e “de forma que”, por exemplo: para obtermos A precisamos de B e para obtermos B precisamos de D” (UMBLE et al., 2006).

### iii. Árvore da Realidade Futura (ARF)

A ARF é uma ferramenta de análise lógica que apresenta os resultados da implementação de soluções, chamada de injeção no Processo de Raciocínio para o problema identificado, que transformará os efeitos indesejáveis em desejáveis (NETO; BORNIA, 2002).

De acordo com os autores, a ARF nasce da injeção que quebra o conflito do DRC, pois o seu processo de construção tem como ponto de partida a injeção do DDN, no qual adicionam-se as relações de causa-efeito na estrutura, assegurando a compreensão da lógica de o porque o objetivo será alcançado se a injeção for implementada. O processo continua até que todos os efeitos desejados estejam conectados a ARF (NETO; BORNIA, 2002), ou seja, a ARF responde a pergunta “para o que mudar”.

#### iv. Árvore de Pré-Requisitos (APR)

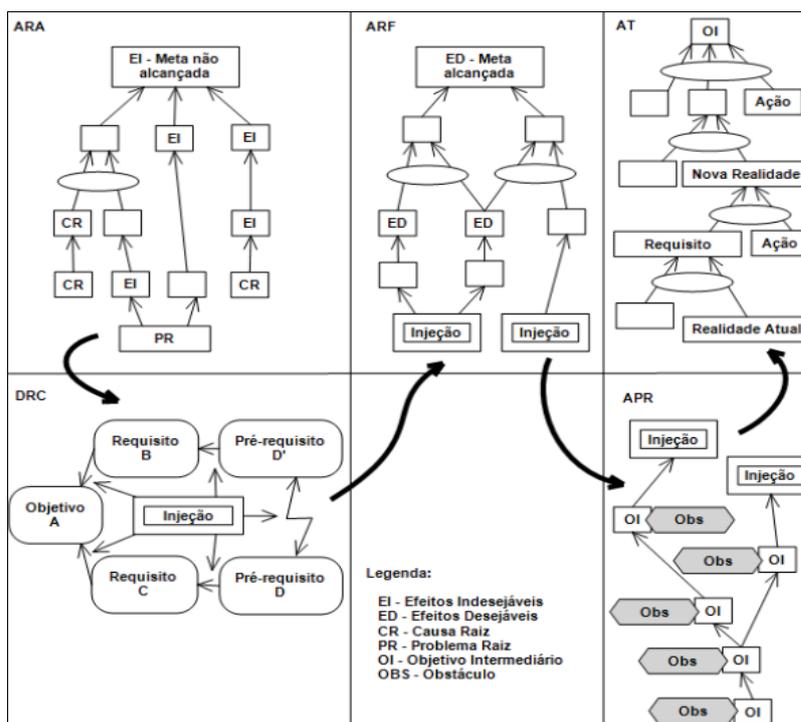
Com a ARF pronta, é necessário responder a próxima e última pergunta: “Como causar a mudança?”. A APR prevê uma ponte entre a ARF e a Árvore de Transição (AT), citada a seguir, sendo assim, a APR apresenta uma sequência temporal.

Desta forma, conforme apontam Alves et al. (2010), todos os obstáculos imagináveis à aplicação da injeção são colocados na APR, gerando uma série de objetivos intermediários (OIs).

#### v. Árvore de Transição (AT)

A AT é o plano de ação, pois de acordo com Dettmer (1997), trata-se de uma ferramenta de implementação que combina ações específicas com a realidade existente para produzir novos efeitos. A AT, conforme modelo apresentado na Figura 1, é um processo aditivo, combinando cada efeito sucessivo esperado com subsequentes ações específicas, que implementam a ARF. Assim, para cada obstáculo previsto há um objetivo intermediário a ser alcançado e, dependendo do número de OIs e de obstáculos, as árvores podem se tornar muito amplas, por isso, torna-se necessário utilizar somente os principais OIs. Na Figura 4, mostra-se a inter-relação entre as ferramentas do processo de raciocínio da TOC.

**Figura 4 -** Modelo de aplicação das ferramentas do processo de raciocínio da TOC



Fonte: Alves, Cogan e Almeida (2010)

Baseado na utilização do pensamento sistêmico, Andrade (1997) simplifica o modelo para seguimento do TP em dez passos, conforme apresentado no Quadro 2.

**Quadro 2 -** Modelo para planejamento de intervenções organizacionais por meio do TP

PASSO	ATIVIDADES
1	Definir a situação complexa de interesse;
2	Apresentar a história por meio de eventos e, com isto, investigar o nível mais externo do pensamento sistêmico;
3	Identificar fatores-chave, ou seja, dentre os eventos levantados, aqueles que têm mais ligação e mais influência sobre a situação de interesse;
4	Levantar o comportamento histórico e traçar gráficos das variáveis de interesse;
5	Baseado nas curvas, hipóteses, experimentos, intuições e conhecimento, identificar as relações de influência e as relações causais necessárias para construir a estrutura sistêmica da situação;
6	Identificar os modelos mentais, apontando crenças e pressupostos que justificam as estruturas sistêmicas;
7	Incorporar os modelos mentais;
8	Se possível, aplicar um arquétipo já conhecido e catalogado;
9	Modelar no computador, com software simulador capaz de simular o comportamento dinâmico atual do sistema;
10	Tentar alternativas no simulador, identificando novas estruturas capazes de melhorar o resultado na situação de interesse.

A TOC propõe um método para gerenciar as restrições em etapas, que são apresentadas a seguir.

#### 2.2.4 Os cinco passos da TOC para a melhoria contínua

A TOC se baseia na ideia de que uma organização é uma rede composta de uma série de elos interligados por uma cadeia de atividades (ALVES et al., 2010).

Para melhorar esta cadeia deve-se então melhorar o elo mais fraco da corrente, ou seja, a restrição. A utilização dos cinco passos é o principal *roadmap* da TOC para identificar as restrições e melhorar continuamente o sistema.

##### Passo 1: identificar a restrição

Athavale e Cristovão (2013) mostram que, para identificar a restrição, deve-se responder algumas questões:

- (i) Como está evoluindo a carteira de encomendas?
- (ii) Onde a maioria dos problemas ocorre?
- (iii) Em qual recurso os supervisores ou gerentes passam a maior parte do tempo quando tentam localizar as ordens?
- (iv) Qual recurso/ máquina/ processo/ departamento tem a menor capacidade, comparando com a demanda?
- (v) Que centros de trabalho têm a maior utilização?
- (vi) O que acontece ao ganho quando a suposta capacidade da restrição muda?

As respostas indicarão os locais que deverão ter a menor capacidade comparativamente, que é provavelmente a restrição.

Pode-se observar também, o local onde é acumulado o maior inventário e quais recursos ficam parados aguardando o material.

## Passo 2: explorar a restrição

Após a identificação da restrição, deve-se decidir como tirar o máximo proveito dela, pois é a restrição que limita a possibilidade de ganhar mais dinheiro.

Goldratt e Cox (2003) apresentam algumas ações para explorá-la:

- (i) Descobrir maneiras de manter a restrição trabalhando o tempo todo;
- (ii) Garantir que a restrição continue trabalhando, mesmo durante as paradas de almoço e passagens de turno;
- (iii) Enviar, apenas, ordens que envolvam clientes em um futuro imediato, e não ordens de produtos que ficarão parados no estoque de produtos acabados, na esperança de que sejam vendidos futuramente;
- (vi) Garantir trabalho de qualidade até a restrição para que os processos seguintes não produzam sucata ou retrabalho da própria restrição;
- (v) Como o tempo de troca da restrição é significativo, trabalhar para reduzir este tempo, de forma promover mais tempo disponível para este recurso.

Esta é a fase em que a TOC mais necessita das ferramentas da ME e do SS, e esta é uma das principais razões para se integrar as filosofias de gestão.

## Passo 3: subordinar tudo à restrição

É neste passo que aparecem os conceitos de Planejamento, Programação e Controle da Produção (PPCP) e de APS mais fortemente. Para garantir que a restrição nunca fique parada, é necessário que se crie um banco de trabalho diante dela, que é chamado de pulmão (GOLDRATT; COX, 2003).

Este processo pode ser contraintuitivo, uma vez que a acumulação de WIP é um desperdício, o que será visto posteriormente no capítulo de indicadores da TOC, no qual o inventário foi reduzido sistematicamente para aumentar os ganhos. Assim, as unidades de estoque devem estar à frente da restrição antes que ela pare e para isso, torna-se importante o gerenciamento das não-restrições.

Grossard e Cristovão (2014) alertam que as não-restrições à jusante da restrição devem ser geridas de uma forma e as não-restrições após a restrição devem ser geridas de outra.

(i) Não-restrições a montante

As não-restrições têm mais capacidade que as restrições, assim, deve-se ter cuidado para que elas não produzam demasiados materiais para aumentar os indicadores locais de produtividade.

Goldratt e Cox (2003) explicam que ótimos locais não traduzem ótimos globais, ou seja, é necessário garantir que as não-restrições produzam materiais que as restrições precisam, de forma que, de acordo com o tempo ela não parará de produzir por falta de material ou pelo uso de um material de má qualidade. Caso alguma não-restrição não esteja conseguindo acumular carga de trabalho suficiente para a restrição, é necessário tomar medidas para conseguir manter ao menos 2/3 do tempo da carga de trabalho definida da restrição e investigar imediatamente a causa.

(ii) Não-restrições à jusante

Após o processamento da restrição, as não-restrições à frente devem processar o mais rápido possível as ordens para que estas sejam vendidas o quanto antes e assim, virarem unidades de meta. Se as não-restrições tiverem tempos elevados de *setup* ou causarem atrasos de entrega das ordens, devem ser aplicadas ferramentas para reduzir o tempo de processamento dessas ordens. Nesta fase, as ferramentas de redução de desperdício do *lean* devem ser aplicadas.

(iii) Tambor-Pulmão-Corda (TPC)

Uma das aplicações mais fundamentais da abordagem dos cinco passos da TOC é o modelo de programação da produção desbalanceado conhecido como TPC (Tambor-Pulmão-Corda). Para Goldratt (2009), a utilização de um sistema balanceado como o *Kanban*, tem boa funcionalidade com sistemas estáveis e com pouca troca de materiais.

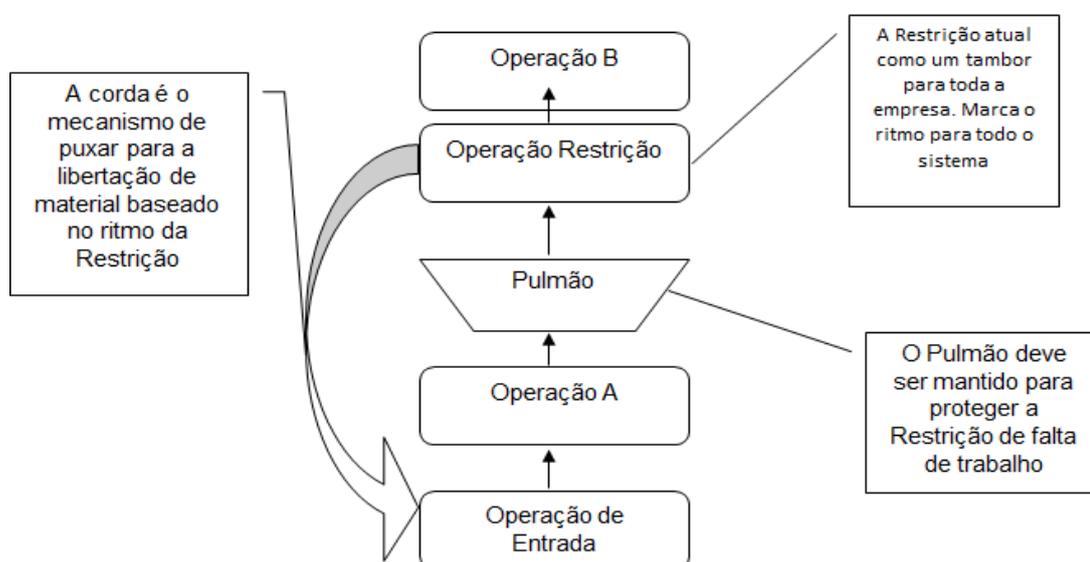
O TPC é um método de programação finita de capacidade, que garante que o cronograma resultante é possível em função da sua capacidade, realizando, assim, as mesmas funções de planejamento de capacidade aproximada de corte e os

requisitos de capacidade de planejamento em um sistema tradicional (GOLDRATT; COX, 2003).

Além disso, a gestão dos *buffers* em um sistema TPC ou DBR (*Drum-Buffer-Rope*) executa funções de controle de capacidade semelhante à função desempenhada pelo controle de entrada/ saída em um sistema tradicional (GUPTA E BOYD, 2008).

Na Figura 5 apresenta-se, genericamente, um sistema simples de programação baseado no sistema TPC:

**Figura 5** - Demonstração genérica de programação da produção através do sistema TPC



Fonte: Athavale e Cristovao (2013).

De acordo com Athavale e Cristovão (2013), o sistema TPC pode ser definido da seguinte maneira:

**Tambor (*Drum*):** Tem esse nome porque estabelece o ritmo que sincroniza toda a organização, o que ajuda a minimizar a falta ou excesso de trabalho na restrição. Portanto toda a organização “marcha” conforme as batidas do tambor.

**Pulmão (*Buffer*):** o pulmão é um mecanismo de proteção. Em um ambiente *make-to-order*, o pulmão é medido por meio do tempo e não do material. Refere-se às unidades de *WIP* que chegam algum tempo antes da restrição ser exigida.

**Corda (*Rope*):** é um dispositivo de comunicação que liga a restrição ao ponto de envio do material, que assegura que as matérias-primas são enviadas para a

fabricação à velocidade da restrição. A função da corda é proteger a restrição da falta ou excesso de material.

Nos capítulos posteriores, pôde ser observada a possibilidade de se utilizar o *Kanban* como um meio de comunicação da corda.

#### Passo 4: elevar a restrição

O objetivo deste item é aumentar a capacidade da restrição para que seja possível produzir acima da demanda e evitar atraso nos pedidos. Para isso, são requeridos alguns recursos adicionais, tais como: pessoas, maquinário ou qualquer outra forma que aumente a capacidade produtiva do gargalo.

Segundo Athavale e Cristovão (2013), é neste passo que se deve escolher onde a restrição deve estar e determinar o que mais precisa ser elevado, ou seja, é neste momento que se verifica se será mais prudente a aplicação de ferramentas de melhoria contínua ou se deverá ser feito um investimento. Esta análise deve ser realizada com muita prudência e analisando os indicadores da TOC.

#### Passo 5: retornar ao passo 1

No último passo, a companhia evoluiu, ou seja, aumentou seu Ganho. Assim, o ciclo deve ser analisado novamente para verificar se a restrição mudou de lugar. A performance da empresa sempre estará restringida por algum recurso, no entanto a organização deve sempre refazer o estudo para conhecer qual é a sua restrição. A restrição pode permanecer no lugar, pode se mudar para outro recurso produtivo, ir para a distribuição, para o mercado, para outro departamento da empresa ou até mesmo para as políticas da empresa, mas neste último caso, é preciso combatê-la e impedir que a inércia tome conta do sistema (GROSSARD; CRISTOVÃO, 2014).

### 2.2.5 Medidas da TOC

Segundo Goldratt e Cox (2003), a meta de uma empresa é ganhar dinheiro hoje e no futuro.

Com base nisso, a TOC propõe três indicadores globais e três indicadores locais, que identificam se a empresa está seguindo em direção a esta meta (COX; SPENCER, 1998; PERGHER; RODRIGUES; LACERDA, 2011).

Os indicadores globais utilizados são: Retorno Sobre Investimento (RSI), Lucro Líquido (LL) e Fluxo de Caixa (FC). Os indicadores locais são chamados de Ganho (G), Inventário (I) e Despesa Operacional (DO).

Segundo Corbett (1997), essas seis medidas são suficientes para a tomada de decisões diárias e para mostrar que a empresa está indo em direção à melhoria contínua.

(i) Indicadores globais

Corbett Neto (1997) define os indicadores globais da TOC como:

- Lucro Líquido (LL): é uma medida que informa o quanto a organização gerou de dinheiro;
- Retorno Sobre o Investimento (RSI): revela a taxa pela qual o investimento da empresa está sendo remunerado;
- Fluxo de Caixa (FC): é uma medida de sobrevivência, que se negativo, a empresa terá que recorrer a empréstimo, aumentando o custo do seu capital.

(ii) Indicadores locais

As medidas financeiras são obtidas por meio de medidas operacionais globais, que são definidas pela TOC como:

- Ganho (G): é a taxa na qual se produz “unidades de meta”. Seu cálculo é feito com base na subtração entre as vendas líquidas (VL) e os custos totalmente variáveis (CTV), normalmente as matérias-primas;
- Inventário ou Investimento (I): é todo dinheiro que está preso no sistema, como por exemplo, estoques, máquinas, edifícios e outros ativos e passivos;
- Despesa Operacional (DO): é todo dinheiro gasto para transformar I em G.

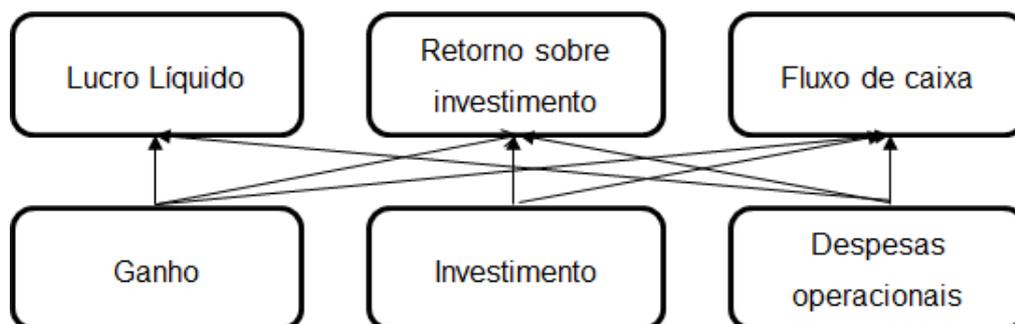
Assim, temos:

$$(1) LL = G - DO \text{ e } (2) RSI = LL/I$$

Portanto, analisando somente os indicadores sustentados pela TOC, o grande objetivo é, pragmaticamente, aumentar G, reduzir I e DO, pois isso trará o aumento do LL e do RSI.

Deste modo, a Figura 6 apresenta as relações de dependência entre as medidas globais e locais.

**Figura 6 -** Relações entre medidas globais e locais



Fonte: Pergher et al. (2011).

## 2.3 SEIS SIGMA

Seis Sigma é um programa de melhoria da qualidade que tem como objetivo reduzir a variabilidade dos processos por meio da aplicação de métodos estatísticos e de ferramentas da gestão da qualidade (GRYNA, 2001; CORONADO; ANTONY, 2002; PANDE et al., 2002).

Para Chakravorty (2009), a abordagem Seis Sigma é utilizada na gestão de processos para minimizar a quantidade de produtos defeituosos que são gerados, reduzindo a variabilidade do processo com a utilização de análises estatísticas.

O método tem como base o Controle Estatístico de Processo (CEP), que é de grande utilidade quando não há a probabilidade de implementar um sistema à prova de falhas, que elimina totalmente a possibilidade de defeito.

A seguir, apresentam-se a origem do Seis Sigma, bem como a utilização do pensamento estatístico como base para a redução da variação e variabilidade dos processos, o modelo de gestão DMAIC e as medidas de desempenho utilizadas por esta abordagem.

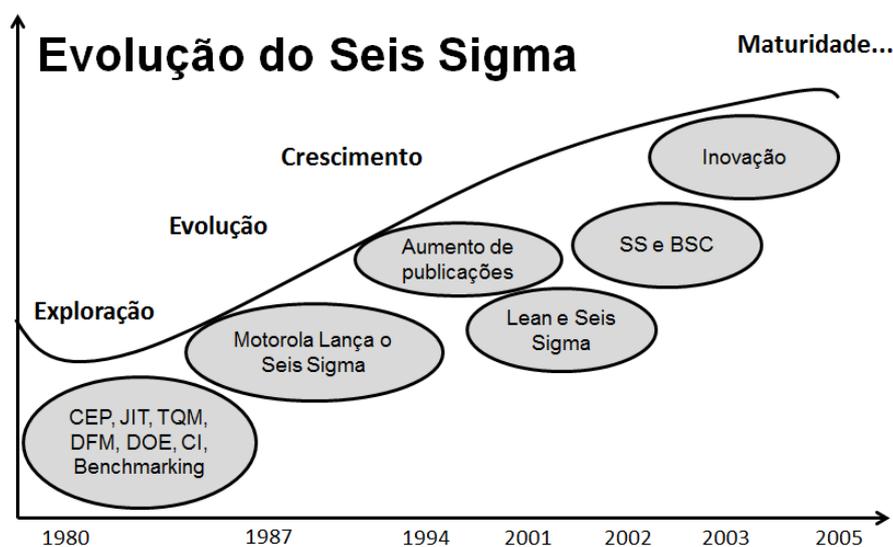
### 2.3.1 Origem

A filosofia Seis Sigma foi criada pela Motorola em meados dos anos 80, devido à uma ameaça dos concorrentes japoneses, que propuseram um método para reduzir a variação dos processos para gerar menos de 3,4 defeitos por milhão de oportunidades. Após o sucesso dos resultados da Motorola, Jack Welch, então presidente da *General Electric*, implementou o SS na empresa e difundiu sua aplicação e sucesso por meio de dossiês e publicações de livros, nos anos 90 (SIX SIGMA BRASIL, 2014).

Gupta (2010) apresentou uma evolução do SS mostrando Bill Smith, vice-presidente e gerente de garantia da qualidade sênior da Motorola, como o “pai” do algoritmo para cálculo do sigma em 1987, após os resultados de um projeto que já havia iniciado no ano anterior. O primeiro projeto publicado foi em 1990, intitulado “Caracterização do processo de revestimento de cobre para substratos cerâmicos” (DELOTT; GUPTA, 1990).

A evolução do SS foi atribuída por Gupta (2010), conforme apresentada na Figura 7:

Figura 7 - Evolução do Seis Sigma



Fonte: Adaptada de Gupta (2010).

Com o passar dos anos, diversas empresas como, *General Electric*, *Allied Signal*, *Raytheon* e *Delphi Automotive* adotaram o método Seis Sigma em seus programas de gestão da qualidade e reportaram excelentes ganhos em suas organizações (CHAKRAVORTY, 2009).

De acordo com Tjahjono et al. (2010), o SS pode ser usado para encontrar e eliminar as causas do problema, reduzindo a variabilidade do processo, a fim de evitar defeitos. A literatura também apoia a ideia de que além da redução de custos diretos, que são alcançados pela melhoria da qualidade e pela redução de descarte de material, a organização também pode ser beneficiada com as economias indiretas, denominadas, redução de retrabalho, redução de *recalls*, redução de passivos de garantia, satisfação do cliente e fidelidade à marca.

### 2.3.2 O pensamento estatístico

O pensamento estatístico é utilizado na manufatura desde o início do século XIX, entretanto, a estatística é normalmente reconhecida pela sua utilização em nível operacional, sendo pouco difundida em nível tático e estratégico (BJERKE; HERSLETH, 2001).

Após a década de 80, com o surgimento do SS, o pensamento estatístico passou a ser usado com mais frequência para melhorar os processos e solucionar os problemas (SANTOS; MARTINS, 2008).

Shewhart e Deming foram os grandes motivadores do uso da estatística para a melhor compreensão dos processos produtivos até a metade do século XX.

Segundo Santos e Martins (2008), o pensamento estatístico aplicado à manufatura é o estudo das variações e variabilidades para a melhoria dos processos. Variação e variabilidade são termos usados com o mesmo sentido em diversas vezes, no entanto, nem sempre é aplicado de forma correta. Variabilidade abrange não somente a variação, mas a instabilidade e a falta de exatidão. Assim, ao se adotar o termo variabilidade em lugar de variação, em cada uma das definições, consegue-se criar um sentido mais abrangente para o pensamento estatístico.

A ausência dos métodos estatísticos não traz evidências e sim impressões. Sendo assim, a falta de métodos estatísticos de análise nos processos de manufatura faz com que a melhoria seja lenta, a argumentação seja fraca, os diagnósticos sejam prejudicados e a variabilidade não seja reduzida (SANTOS; MARTINS, 2008).

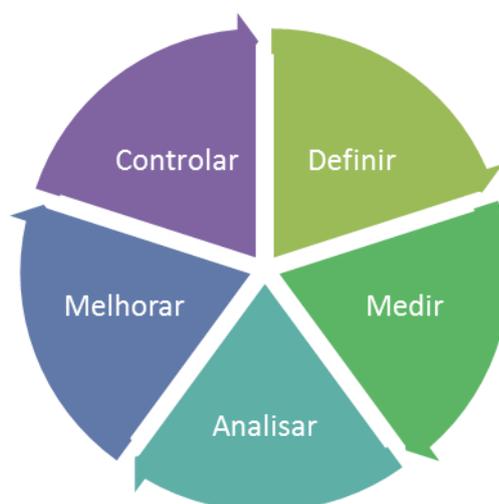
O surgimento do Seis Sigma intensificou o pensamento estatístico após trazer resultados financeiros expressivos para as empresas que o implementaram, como por exemplo, Motorola, General Electric, Allied Signal, 3M, IBM, DowChemical, American Express, DuPont, Toshiba, Eaton, Johnson & Johnson (SCHROEDER et al., 2002).

É importante ratificar que o Seis Sigma não é somente uma coleção de ferramentas estatísticas que reduz o desvio padrão. Por trás de todas as ferramentas e resultados obtidos, existe o pensamento estatístico que pode ser aplicado a um nível estratégico, tático e operacional, com características distintas. O nível estratégico tende a fazer um uso mais conceitual das ideias subjacentes do pensamento estatístico, principalmente na escolha dos projetos a serem realizados. Já o nível tático se responsabilizará pela utilização do pensamento estatístico na implementação e pelo gerenciamento dos meios que possibilitam alcançar os objetivos estratégicos, principalmente para que as atividades do nível operacional estejam em harmonia com a orientação estratégica (SANTOS; MARTINS, 2004).

Este modelo de pensamento estatístico para minimizar o impacto da variabilidade e variação dos processos faz do SS uma abordagem importante para os modelos de integração com as filosofias TOC e ME, apresentados neste trabalho.

### 2.3.3 O ciclo de implementação do Seis Sigma

A abordagem utilizada para implementação seis sigma é conhecida pelas iniciais de seu ciclo de melhoria em inglês que é formado por: Definir (*Define*), Medir (*Measure*), Analisar (*Analyse*), Melhorar (*Improve*) e Controlar (*Control*), como mostra-se na Figura 8:

**Figura 8 - Ciclo DMAIC**

Fonte: Adaptada de Santos (2012)

Segundo Santos (2012), a metodologia DMAIC tem alcançado muitos adeptos devido aos inúmeros casos de sucesso na resolução de problemas do processo produtivo, e também devido à simplicidade da estrutura lógica inerente às etapas necessárias para a sua implementação, apesar da dificuldade associada à aplicação de algumas de suas ferramentas. Este ciclo é muitas vezes comparado ao ciclo PDCA, também conhecido pelo ciclo de Deming (*Plan, Do, Check, Act*). Contudo é importante salientar que existem características que diferenciam ambos os métodos.

#### 2.3.4 Medidas do Seis Sigma

Para o SS, se não forem estabelecidas as medidas para seus processos, seus comportamentos não serão conhecidos, sendo as duas medidas mais críticas, o tempo de ciclo e os defeitos (THORLEIFSON, 2011).

Mergulhao e Martins (2008) apresentam uma síntese dos principais indicadores de desempenho utilizadas pelo SS, os quais são apresentados no Quadro 3:

**Quadro 3 - Indicadores Seis Sigma**

CATEGORIAS	NOMENCLATURAS	DESCRIÇÃO
Defeituosos	Proporção de defeituosos (p)	Refere-se à fração de amostras de um item que possui um ou mais defeitos.

	<i>First Throughput Yield (FTY)</i>	Corresponde à probabilidade de se encontrar zero defeito ao se inspecionar uma amostra que advém do processo.
	<i>Rolled Throughput Yield (RTY)</i>	Representa a probabilidade de um único produto passar por vários processos e sair livre de defeitos.
Defeitos	Defeitos por Oportunidade (DPU)	Reflete o número médio de defeitos, de todos os tipos, sobre o número total de unidades da amostra.
	Defeitos por milhão de oportunidades (DPMO)	Representa o número total de defeitos em um milhão de unidades produzidas, dividido pelo número total de oportunidades de defeito.
Indicadores de capacidade	$C_{pk}$	Índice de capacidade muito utilizado, pois leva em conta onde a posição da média do processo está localizada em relação às especificações.
	$P_{pk}$	Sua utilização é mais adequada quando o processo não está sob controle estatístico. No entanto, desde que isso seja considerado, as propriedades estatísticas dele não são determináveis e conseqüentemente impossibilita que qualquer inferência válida sobre seus valores populacionais seja feita.
	Níveis sigma de curto e longo prazo ( $Z_{cp}$ ) e ( $Z_{lp}$ )	Consiste em medir a distância da média à especificação mais próxima (LSE ou LIE) em quantidade de desvios-padrão (sigmas), utilizando a distribuição normal reduzida ( $z$ ). Em função do deslocamento de 1,5 desvios padrão, considerado por algumas empresas, ele assume as formas de curto e longo prazo. A última considera o deslocamento de 1,5 sigmas.

Fonte: Mergulhão e Martins (2008).

As medidas de desempenho do SS são definidas e realizadas na segunda fase do ciclo DMAIC – Medição – por meio da definição realizada na primeira fase dos itens críticos para a qualidade (CTQ).

Eckes (2001) determina três regras básicas a serem seguidas para medir o desempenho de um processo, com base no seis sigma:

1. Medir os 2 ou 3 resultados mais importantes no processo;
2. Medir 1 ou as 2 entradas mais importantes dos fornecedores;
3. Determinar uma medida básica de eficiência do processo, ciclo de tempo, custo, mão-de-obra ou valor.

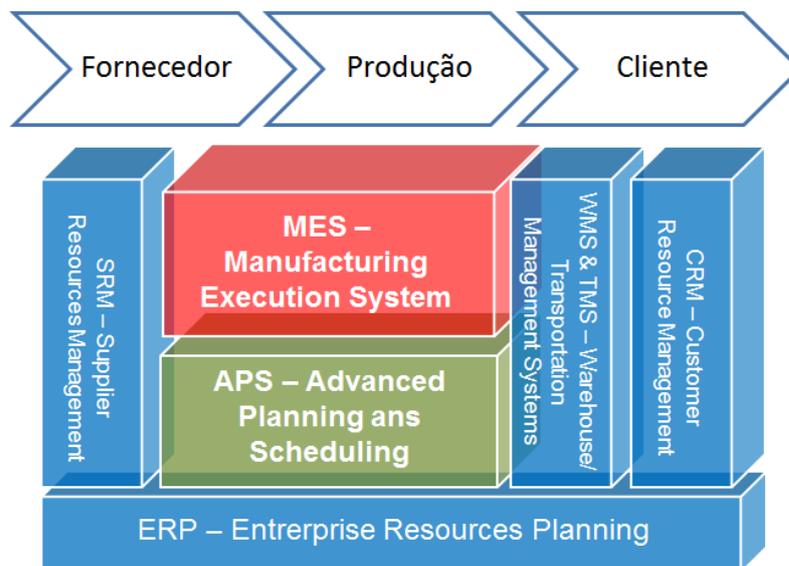
### 3. SISTEMAS DE INFORMAÇÃO DE CHÃO DE FÁBRICA

Com a evolução cada vez mais rápida da tecnologia da informação, aliada a necessidade constante das empresas aumentarem sua competitividade, as indústrias vêm aumentando a utilização desses meios para gerenciar e controlar seus negócios.

Morelli, Campo e Simon (2012) relatam que desde o início dos anos 1990 as empresas se empenhavam em integrar todos os processos de negócios dos fornecedores e clientes, reduzindo seu tempo de venda, melhorando sua receptividade e aumentando o nível de serviço ao consumidor.

Os autores ainda mostram que existem diversos sistemas de informações gerenciais (SIG), como: *Customer Relationship Management (CRM)*, *Warehouse Management System (WMS)*, *Transportation Management System (TMS)*, *Distribution Resource Planning (DRP)*, *Advanced Planning and Scheduling (APS)*, *Master Production Schedule (MPS)*, *Manufacturing Resource Planning (MRPII)*, *Capacity Requirement Planning (CRP)*, *Supplier Relationship Management (SRM)*, *Shop Floor Control (SFC)*, *Manufacturing Execution System (MES)*, *Electronic Data Interchange (EDI)*, *Enterprise Resource Planning (ERP)*, Internet e outros mais que ainda surgirão.

Na Figura 9 é possível identificar alguns dos SIG utilizados em relação a sua posição na cadeia de suprimentos.

**Figura 9** - Relação entre SIG e a Cadeia de Suprimentos

Fonte: Elaborado pelo autor.

Este trabalho está delimitado internamente a uma determinada empresa, cujo foco está no planejamento e programação da produção e na coleta de informações de chão de fábrica como base de apoio para a melhoria contínua dos processos. Isto é, o foco não está no detalhamento das arquiteturas de cada sistema e nem na análise completa da cadeia de suprimentos e da tecnologia da informação utilizada em cada segmento. Sendo assim, os sistemas avançados de planejamento (APS) são utilizados para o planejamento, programação e sequenciamento da produção e os chamados sistemas de execução da manufatura (MES), são utilizados para a coleta de dados e informações de produção.

Alguns estudos apontam que a utilização do APS e do MES apresenta inúmeras vantagens no processo de melhoria contínua nas empresas (ZYLSTRA, 2005; ERHART; FAÉ, 2011; COTTYN, et al., 2009; GLIWIŃSKI; SZPYTKO, 2010).

Como o modelo apresentado se limita às áreas internas à manufatura, neste trabalho é apresentado apenas os sistemas MES e APS

### 3.1 SISTEMAS DE EXECUÇÃO DA MANUFATURA (MES)

Os Sistemas de Execução da Manufatura, do inglês *Manufacturing Execution Systems* (MES) surgiram em meados dos anos 90 devido à percepção de que os

sistemas ERPs não forneciam as ferramentas necessárias para enviar informações e nem para rastrear o que estava acontecendo no chão de fábrica (LIDELL, 2008).

De acordo com Ugarte et. al. (2009), o MES, desde seu início, evoluiu significativamente em aplicações de softwares mais poderosos e mais integrados, com a utilização das mais avançadas tecnologias de informação.

Lidell (2008) define o MES como um sistema de informação integrado para auxiliar no gerenciamento de processos executados na indústria, que incluem funções como alocação de recursos, controles de documentos, análise de performance, coleta de dados, rastreabilidade de materiais, controle de qualidade etc. Ademais, o MES pode prover informações relacionadas à produção e gerenciamento de manutenção em tempo real.

O MES pode ser muito interessante para os sistemas de melhoria contínua, pois fornece informações de desempenho do processo com maior acuracidade, dependendo do nível de automatização do processo. A utilização dos Controladores Lógicos Programáveis (CLPs), das redes de comunicação *wireless*, das identificações por rádio-frequência (RFID), dos *smartphones* e dos sistemas de visualização em 3D vêm facilitando ainda mais o nível de informação em tempo real, ajudando assim os sistemas MES a transmitirem informações de desempenho reais e em tempo real seja em qualquer lugar em que administradores do processo estiverem (WANG et al., 2012).

É importante salientar que as informações mais fáceis e em tempo real não substituem a necessidade de visitas ao chão de fábrica para análise do processo.

Para Cottyn et al. (2009), os sistemas MES podem ser suficientemente flexíveis para acomodar a filosofia de melhoria contínua em um ambiente *lean*. Segundo os autores, apesar da ausência de pesquisas anteriores sobre o tema, os fornecedores dos softwares desenvolveram aplicativos autônomos para apoiar as práticas de telas de gestão visual, o programa seis sigma, o *e-Kanban* e os geradores de Indicadores de Desempenho.

De acordo com Sherris (2006), o MES está idealmente posicionado como uma ferramenta valiosa em programas de melhoria Seis Sigma.

Assim, os sistemas MES podem ser ferramentas importantes no apoio à gestão da produção e da melhoria contínua, uma vez que fornece um *feedback* para os sistemas de programação e de desempenho dos processos produtivos, reduzindo

esforços de coletas de dados manuais e criação de informação, cabendo aos engenheiros e gestores a função de observar, analisar e melhorar.

### 3.2 SISTEMAS AVANÇADOS DE PLANEJAMENTO E PROGRAMAÇÃO (APS)

Os Sistemas Avançados de Programação (APS) são softwares de planejamento e programação da produção com capacidade finita, usados para o gerenciamento da manufatura, ou seja, possuem como características relevantes o uso de algoritmos e heurísticas sofisticadas, o que leva em consideração as mais diversas variáveis e restrições presentes em sistemas de produção, bem como as políticas e estratégias de utilização da capacidade instalada e de atendimento da demanda estabelecidas pela empresa. Normalmente são ferramentas de fácil implementação, simples de usar e que oferecem resultados muito expressivos para os diferentes setores da empresa – produção, comercial, suprimento, financeiro, etc. (LIDELL, 2008).

Segundo Sequeira (2000), os sistemas APS podem ser empregados praticamente em todos os ambientes e sistemas produtivos, mas seus benefícios são maiores em empresas:

- ✓ na qual a programação de produção é baseada na capacidade e não na disponibilidade dos materiais;
- ✓ com estrutura de produtos simples, mas com muitas operações;
- ✓ na qual o sequenciamento das ordens de produção influencia na produtividade;
- ✓ com fluxos de produção complexos, que não podem ser simplificados e onde existe dificuldade de aplicação de gestão visual;
- ✓ na qual há uma variação significativa de carga ao longo do tempo ou sazonalidades;
- ✓ que apresentam gargalos variáveis em função do mix de produção;
- ✓ que produzem por encomenda e na qual o *lead time* é muito variável em função da carga da fábrica.

Ivert e Jonsson (2010) apontam os maiores benefícios da implementação de um software APS como sendo intangíveis: ajuda os gestores a compreender as implicações de custo e de redes de serviços alternativas, reforça a capacidade da empresa para corrigir os problemas da cadeia de suprimentos e aumenta a confiança das pessoas no que diz respeito ao planejamento.

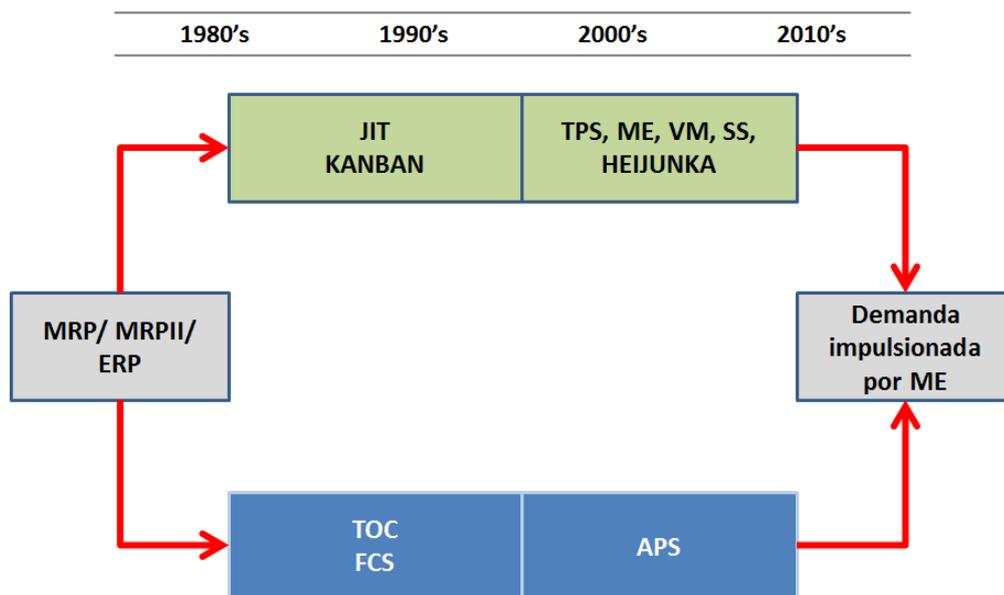
Apesar de não se encontrar na literatura acadêmica um grande número de artigos sobre a utilização do APS em conjunto com as filosofias de melhoria contínua, é possível identificar alguns artigos e textos referenciando a utilização dos softwares APS como uma importante ferramenta de apoio para a aplicação da ME e/ou da TOC.

Liker et al. (1999) afirmam que os softwares APS podem calcular o *takt time* muito mais rapidamente em casos de demandas variáveis e quando os produtos têm operações diversificadas, podendo também simular diversas situações antes de realizar o sequenciamento.

Erhart e Faé (2011), por exemplo, apresentam diversos casos de sucesso de implementação de sistemas APS apoiados pela TOC e pela ME.

Lidell (2011 apud Erhard e Faé, 2011) apresentou um framework que denominou como o futuro da ME e do APS, iniciando pela década de 1980, por meio das investidas dos ERP, MRP e MRPII até 2010 em que há uma integração das filosofias de melhoria e dos métodos de planejamento de recursos para a produção, conforme apresenta-se na Figura 10.

**Figura 10 - Futuro do ME e APS**



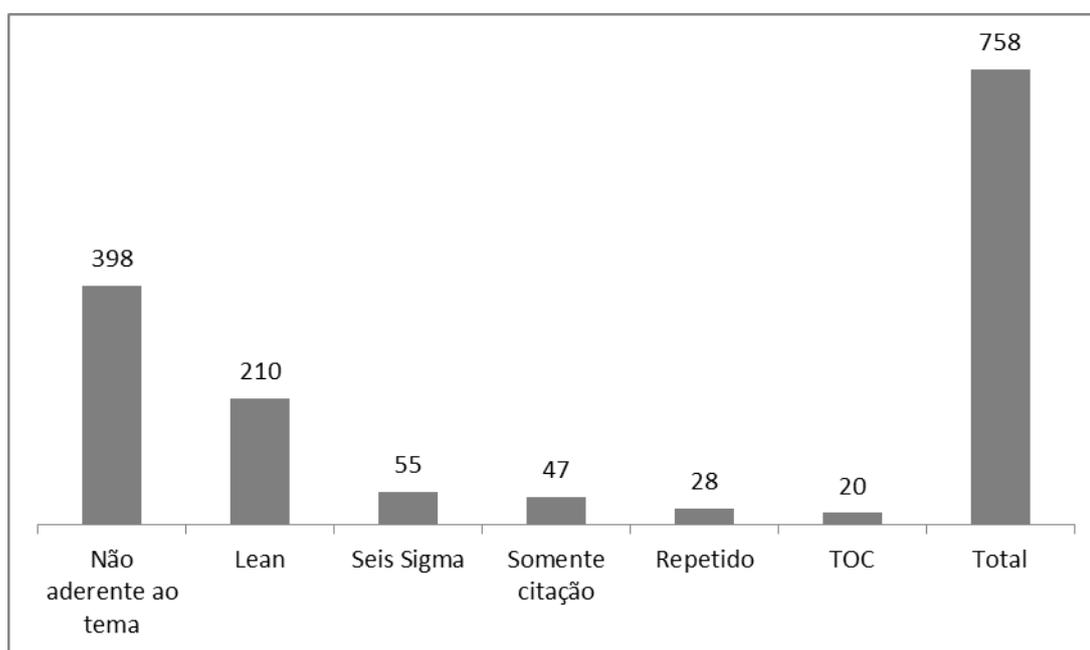
Fonte: Adaptada de Lidell, 2011.

Zylstra (2005) publicou um *white paper* ,disponível na internet, sobre o paradoxo que é a utilização do APS, TOC ou *Lean*, apresentando as diversas análises relacionadas ao ambiente produtivo e a empresa que deve decidir qual técnica utilizar, tendo como base uma preparação.

#### 4. MODELOS DE INTEGRAÇÃO ENTRE MANUFATURA ENXUTA, TEORIA DAS RESTRIÇÕES E SEIS SIGMA

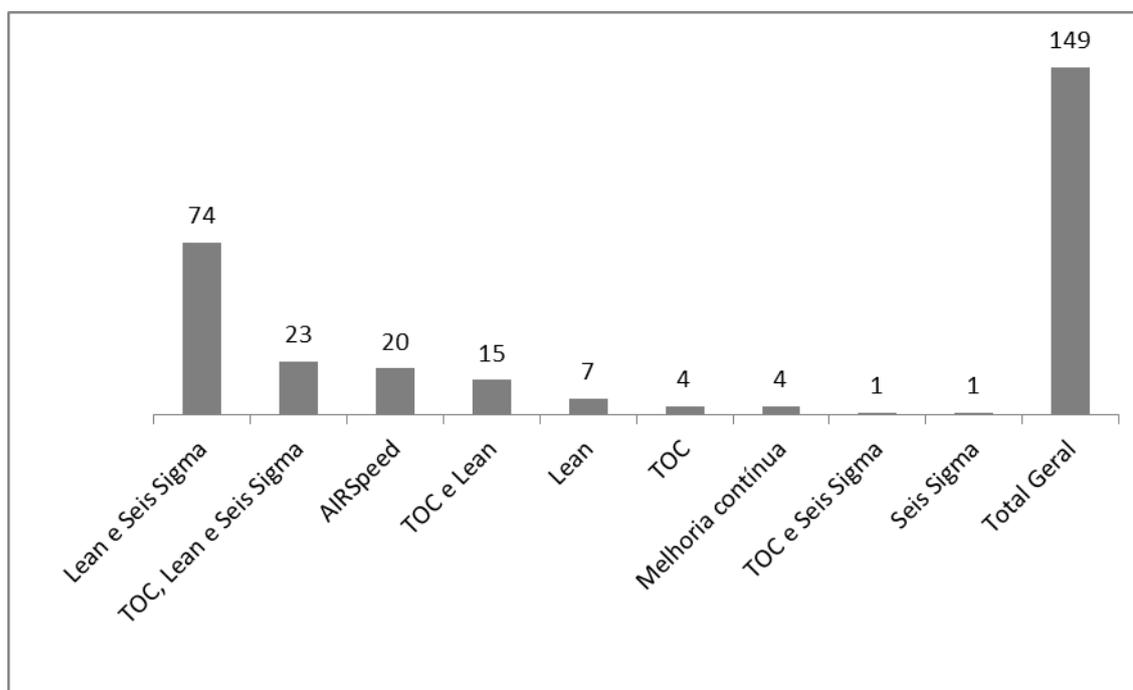
Seguindo os critérios anteriormente explicitados no subcapítulo 1.4, no Gráfico 1 apresentam-se os temas das 758 publicações que foram desconsideradas na revisão bibliográfica.

**Gráfico 1** - Temas das publicações excluídas na análise bibliográfica



Fonte: Elaborado pelo autor.

A revisão bibliográfica sobre a TOC, a ME e o SS resultou em 149 trabalhos, baseados nos critérios apresentados anteriormente e, por isso, foram utilizados na primeira etapa da revisão. No Gráfico 2, a seguir, pode-se observar os temas utilizados para a análise.

**Gráfico 2** - Temas das publicações incluídas na análise bibliográfica

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como pode-se observar, a abordagem mais consolidada foi o tema que relaciona a integração entre o Lean e o Seis Sigma, no qual apareceu 74 vezes nas buscas, correspondendo a quase 50% das publicações utilizadas. De modo geral, todos os artigos mostram uma relação positiva e complementar sobre as duas abordagens.

Ademais, a pesquisa resultou em 20 publicações no que se refere à abordagem *AirSpeed*, que foi um programa criado pela *Naval Enterprise Aviation*.

Segundo Murphy (2005), a *AirSpeed* consiste na integração das melhores práticas de negócio, que inclui a TOC, a ME e o Seis Sigma. O programa enfatiza a melhoria contínua dos processos para a cultura da aviação naval. As publicações encontradas sobre o programa *AirSpeed* da Companhia de Aviação Naval Americana, surgiram em 2005, sendo em sua maioria, trabalhos de conclusão de um curso de Pós-Graduação da *Naval Post Graduate School*. Por isso, as publicações possuem apenas um autor, conforme apresentado no Quadro 4.

É possível identificar o mesmo tema nos Gráficos 1 e 2. Isso ocorre devido aos critérios de exclusão apresentados anteriormente. Isto é, uma publicação com o

tema Lean, pode ter apresentado uma comparação ou uma integração com SS ou TOC e outra publicação pode ter citada somente as outras abordagens em alguma parte do texto ou nas referências bibliográficas.

**Quadro 4 - Publicações que utilizam a abordagem *Airspeed***

<b>AUTOR</b>	<b>ANO</b>	<b>TEMA</b>	<b>METODOLOGIA</b>
<b>MURPHY</b>	2005	Lean	Estudo de caso
<b>CHRISTIMAN</b>	2005	Marketing	Estudo de caso
<b>U. S. MARINE CORPS</b>	2006	Gestão de operações	Estudo de caso
<b>BISSELL</b>	2006	Lean	Survey
<b>CHASE</b>	2006	Manutenção	Estudo de caso
<b>JAFAR</b>	2006	Manutenção	Estudo de caso
<b>JAFAR</b>	2006	Manutenção	Simulação
<b>STENNIS</b>	2006	Projeto	Teórico/ Conceitual
<b>MCCOMAS</b>	2007	Contratação de serviços	Estudo de caso
<b>KANG</b>	2007	Lean e Seis Sigma	Estudo de caso
<b>SNOW</b>	2007	Manutenção	Estudo de caso
<b>ENDRESS</b>	2007	Marketing	Estudo de caso
<b>STONE</b>	2008	Logística	Estudo de caso
<b>OTT</b>	2008	Logística	Estudo de caso
<b>LEFON JR.</b>	2009	Gestão de carreira	Estudo de caso
<b>CASTLE</b>	2010	Gestão de operações	Estudo de caso
<b>ALVES</b>	2010	Lean e Seis Sigma	Teórico/ Conceitual
<b>PREBULA III</b>	2012	Lean	Estudo de caso
<b>MARTINEZ</b>	2012	Logística	Estudo de caso
<b>PUTRA</b>	2012	Logística	Estudo de caso

Fonte: Elaborado pelo autor.

No que se refere à TOC e à ME, as 15 publicações encontradas se iniciam com os estudos de Dettmer (2001), e somente após a sua iniciativa, Nave (2002) realizou um estudo comparativo entre a TOC, a ME e também o Seis Sigma e a partir daí,

todos os artigos científicos passaram a utilizar seus estudos para referenciar ou validar suas propostas.

Desta forma, a partir de 2002, iniciaram-se as investidas para comparar e integrar a TOC, a ME e o SS. No Quadro 5, apresenta-se esta evolução, o tipo de pesquisa e os modelos ou *frameworks* criados para analisar estas três abordagens.

**Quadro 5** - Resultados encontrados sobre a abordagem das filosofias TOC, ME e SS

AUTOR	ANO	TIPO DE PESQUISA	MODELO/ FRAMEWORK	INTEGRAÇÃO / COMPARAÇÃO
NAVE	2002	Teórico/ Conceitual	Framework	Comparação
DIRGO	2006	Livro	Modelagem/ Framework	Integração
DEPOOL; AMENDOLA; CRESPO	2006	Teórico/ Conceitual	Modelagem/ Framework	Integração
PIRASTEH; FARAH	2006	Estudo de caso	Não	Integração
BALSAN	2006	Teórico/ Conceitual	Não	Integração
HÁ	2006	Teórico/ Conceitual	Não	Integração
BADENHORST	2009	Teórico/ Conceitual	Modelagem/ Framework	Integração
JACOB; BERGLAND; COX	2009	Livro	Modelagem/ Framework	Integração
STEPHEN	2009	Teórico/ Conceitual	Não	Comparação
CREASY	2009	Teórico/ Conceitual	Não	Integração
BRINTRUP; TOMASELLA; HARRISON	2009	Teórico/ Conceitual	Não	Integração
STAMM; NEITZERT; SINGH	2009	Teórico/ Conceitual	Não	Evolução
SPROULL	2011	Livro	Modelagem/ Framework	Integração
KOSIERADZKA; KAKOL; KRUPA	2011	Teórico/ Conceitual	Não	Comparação
THORLEIFSON	2011	Teórico/ Conceitual	Não	Comparação
SPROULL; NELSON	2012	Teórico/ Conceitual	Modelagem/ Framework	Integração
PIRASTEH; FOX	2012	Livro	Modelagem/ Framework	Integração
OKIMURA; SOUZA	2012	Teórico/ Conceitual	Não	Integração
PACHECO	2012	Teórico/ Conceitual	Não	Integração
MEYER	2012	Livro	Não	Integração
PIRASTEH; KANNAPPAN	2013	Teórico/ Conceitual	Modelagem/ Framework	Integração
NUTTAVONG; YONGYUT	2013	Teórico/ Conceitual	Não	Comparação

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para o presente estudo, a maior descoberta da revisão da literatura foram os modelos de integração das abordagens TOC, ME e SS existentes, os quais podem ser apreciados no Quadro 6.

**Quadro 6** - Modelos que utilizam a TOC, a ME e o SS de forma conjunta

AUTOR	ANO	TEMA	ASSUNTO	MODELO
<b>HINES; HOLWE; RICH</b>	2004	Lean	Manufatura	Lean <i>thinking</i> : estratégico e operacional
<b>DIRGO</b>	2006	TOC, Lean e Seis Sigma	Manufatura	Look Forward
<b>DEPOOL; AMENDOLA; CRESPO</b>	2006	TOC, Lean e Seis Sigma	Projetos	Metodologia de Direção e Gestão de Projetos
<b>BADENHORST</b>	2009	TOC, Lean e Seis Sigma	Serviços	Modelo universal para inovação e melhoria
<b>JACOB; BERGLAND; COX</b>	2009	TOC, Lean e Seis Sigma	Manufatura	Velocidade
<b>SPROULL</b>	2009	TOC, Lean e Seis Sigma	Manufatura	Último Ciclo de Melhoria
<b>SPROULL; NELSON</b>	2012	TOC, Lean e Seis Sigma	Manufatura	Último Ciclo de Melhoria
<b>PIRASTEH; FOX</b>	2012	TOC, Lean e Seis Sigma	Manufatura	iTLS
<b>PIRASTEH; KANNAPPAN</b>	2013	TOC, Lean e Seis Sigma	Manufatura	iTLS

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como os engenheiros e analistas não conseguem ficar ao lado da máquina acompanhando o processo 100% do tempo, há uma distorção entre os tempos reais e os tempos reportados de paradas da máquina. O MES foi criado em 2000 para conseguir suprir essa lacuna e tornar esta distorção quase que imperceptível, fazendo com que os profissionais estejam seguros de que os números analisados são realmente o que está acontecendo na prática.

A partir desta análise, surgiu a oportunidade de propor um modelo conceitual que será apresentado no capítulo 5.

A primeira vez que foi encontrada uma publicação sobre a utilização integrada da TOC, ME e SS foi em 2006, na revista norte-americana dedicada à gestão de operações, chamada *APICS Magazine*, no artigo “*Continuous Improvement Trio: the top elements of TOC, lean and six sigma make beautiful music together*”.

Neste estudo, Pirasteh & Farah (2006) compararam resultados de empresas que utilizavam apenas o *lean*, ou o seis sigma e de outras que resolveram aplicar os dois métodos anteriores integrados à TOC. O estudo apresentou uma contribuição de 89% do total de *saving* reportado, o que é bem superior aos 4% e 7% das empresas que utilizaram isoladamente o *lean* e o seis sigma. Paralelamente, começaram a surgir relatos da utilização das três filosofias de forma conjunta pelo Corpo de Fuzileiros Navais da Marinha Americana por meio de um método conhecido como *Airspeed*.

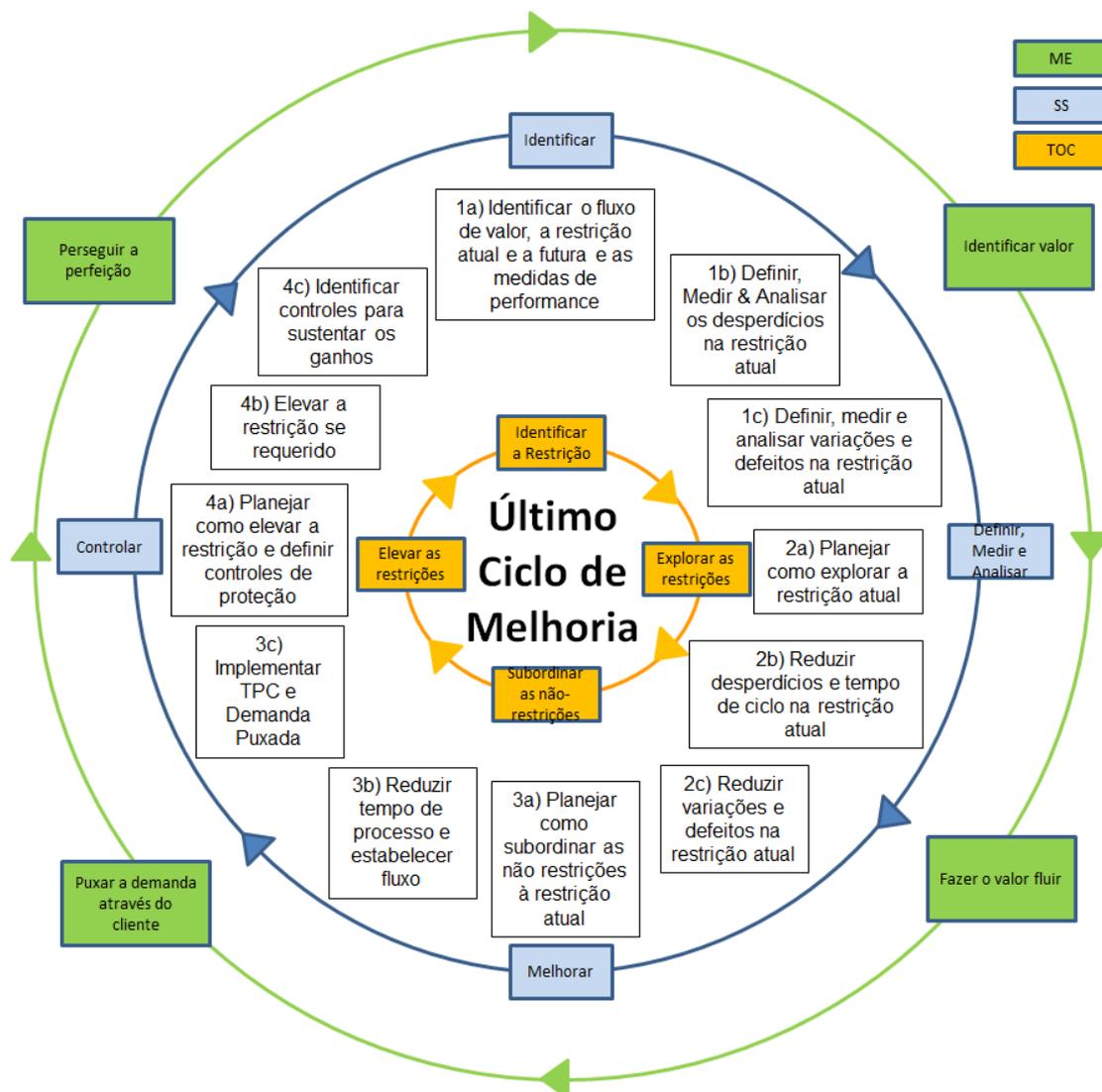
A partir deste momento, alguns autores se interessaram pela integração e lançaram alguns livros, como por exemplo, Look forward® (DIRGO, 2006), The ultimate improvement Cycle (SPROULL, 2009), Profitability with no boundaries (PIRASTEH; FOX, 2010), Velocity (JACOB et al. 2009) e Epiphanized (SPROULL; NELSON, 2012). Os dois primeiros são livros técnicos e os dois últimos seguem a mesma linha do romance de negócios e Best Seller “A meta” escrito por Elyahu Goldratt. A seguir, serão relatados e analisados os modelos existentes e a comparação entre eles.

#### 4.1 MODELO DE INTEGRAÇÃO UIC

Sproull (2009) criou o ciclo *Ultimate Improvement Cycle* (UIC), em português Último Ciclo de Melhoria, a partir das filosofias ME, Seis Sigma e TOC.

Com base na utilização dos *roadmaps* das três filosofias, Sproull criou o UIC em 4 etapas, divididas em 3 passos cada uma, sendo que, nestes passos foram aplicados, inicialmente, a visão da TOC, em seguida do *lean* e por fim do seis sigma, conforme pode-se observar na Figura 11.

Figura 11 - Ultimate Improvement Cycle



Fonte: Sproull, 2009.

Passo 1:

- a. identificar o fluxo de valor, a restrição atual e a próxima restrição; e definir as medidas de desempenho;
- b. identificar, medir e analisar os desperdícios na restrição atual;
- c. medir e analisar as variações e defeitos na restrição atual.

O passo 1 apresenta uma identificação clara de como e onde iniciar o processo de melhoria contínua. Inicialmente mostra-se a importância da utilização do MFV

para identificar o fluxo de valor atual, conhecer a restrição vigente e a próxima restrição. A identificação da próxima restrição é um ponto importante deste modelo para que se tenha uma visão de médio prazo do que acontecerá após a realização das melhorias da restrição atual.

Ainda neste passo, Sproull (2009) mostra que é necessário definir as medidas de desempenho que deverão ser monitoradas e melhoradas durante o processo.

Os passos b e c da primeira etapa realizam os três primeiros passos do DMAIC para conhecer os desperdícios (lean) e as variações (seis sigma) da restrição atual.

Passo 2:

- a. planejar como explorar a restrição atual;
- b. reduzir o desperdício e o tempo de ciclo na restrição atual;
- c. reduzir a variação e os defeitos na restrição atual.

O segundo passo do modelo de Sproull realiza a etapa de exploração da restrição da TOC, utilizando as ferramentas de redução de desperdício e de variação da ME e SS. A utilização de *kaizen* de processo, do SMED, dos sistemas à prova de erro, do trabalho padronizado, das histogramas e cartas de controle são apropriadas para se alcançar os resultados neste passo. Desta forma, um planejamento correto torna-se necessário para que se possa agir no local adequado. Neste momento, a utilização de informações obtidas por meio do MES pode acelerar o processo de obtenção de dados do recurso restrição e propiciar mais tempo para análise, aplicação das ferramentas e treinamento.

Passo 3:

- a. planejar como subordinar as não-restrições à restrição atual;
- b. reduzir o tempo de processamento e estabelecer fluxo;
- c. implementar o sistema TPC, *buffer* para a restrição e sistema de produção puxada.

Essa é a etapa destinada à melhoria do fluxo de produção, redução do *lead time* e do *WIP*. Programar em único ponto, subordinar todos os recursos não-restrição à restrição atual e implementar a produção puxada são as palavras de ordem nesta etapa. Os sistemas avançados de planejamento e programação (APS) são desejáveis neste momento para que seja possível simular cenários de utilização de *Kanban* e TPC e para programar utilizando menor custo, maior fluxo, maior margem de contribuição, etc. O melhor método dependerá do momento atual da empresa e do planejamento estratégico.

Passo 4:

- a. planejar como elevar a restrição e definir controles de proteção;
- b. elevar a restrição, se necessário;
- c. implementar controles de proteção para sustentar os ganhos.

O quarto e último passo do modelo de integração UIC é a implementação dos últimos passos de cada filosofia: buscar a perfeição (ME) por meio da elevação da restrição (TOC) e implementar os controles (DMAIC) que sustentam os ganhos. A utilização de sistemas à prova de erros, gráficos de controles, trabalho padronizado e auditorias é importante para disciplinar as pessoas e para tornar as melhorias mais efetivas. Este é um passo de extrema importância, que requer muita disciplina e comprometimento da alta liderança.

Três anos após criação do UIC, Sproull e Nelson (2012) escreveram o livro "*Epiphanized: integrating theory of constraints, lean and six sigma*", formando um acrônimo na capa com a sigla TLS. De acordo com os autores, não se deve utilizar apenas uma filosofia de melhoria contínua em detrimento da outra. Para reduzir os tempos de ciclos e aumentar a lucratividade da empresa devem ser utilizadas as três filosofias de forma integrada.

O grande foco do livro é enfatizar como a TOC pode ser o ponto de alavancagem para as iniciativas de melhoria da ME e do SS, o que o diferencia dos livros anteriores, mesmo porque este estudo também foi escrito por Sproull. Ademais, apresenta-se um apêndice com diversas ferramentas que foram utilizadas no decorrer da história de forma mais detalhada, são elas: Mapeamento de Objetivos

Intermediários, Diagrama de Interferências, Modelo de reposição de peças da TOC e Multiplicação do TPC (SPROULL; NELSON, 2012).

(i) Mapeamento de Objetivos Intermediários (MOI)

Como uma das ferramentas de raciocínio da TOC, o MOI é um sistema lógico, baseado nas necessidades, que utiliza a seguinte premissa: "Para ter... Eu devo ter...". O mapeamento inicia-se com a formulação de uma meta para a organização; abaixo dela, devem ser incluídos os Fatores Críticos de Sucesso (FCS) para atingimento da meta e abaixo dos FCS, devem ser incluídas as Condições Necessárias (CN) que devem estar localizadas para alcançar os FCS. As CN são a base para o plano de melhorias e devem ser escritas como forma de atividades.

(ii) Diagrama de Interferências (DI)

O DI é uma ferramenta de mapeamento que pode rapidamente apontar uma pessoa, uma equipe ou uma organização na direção certa para resolver um problema. O DI ajuda a responder a seguinte pergunta: "O que mudar?". Ao contrário das outras ferramentas de pensamento, o DI não é baseado na lógica, mas sim na intuição, ou seja, o pensamento aplicado não é desenvolver ou isolar uma única resposta, mas sim listar os obstáculos/interferências que impedem a consecução do objetivo desejado.

O DI pode ser considerado uma forma alternativa, usada pela TOC, para realizar o Diagrama de Ishikawa ou Espinha de Peixe, para em seguida realizar o Diagrama de Pareto e a Matriz de Prioridade.

(iii) Modelo de reposição de peças da TOC

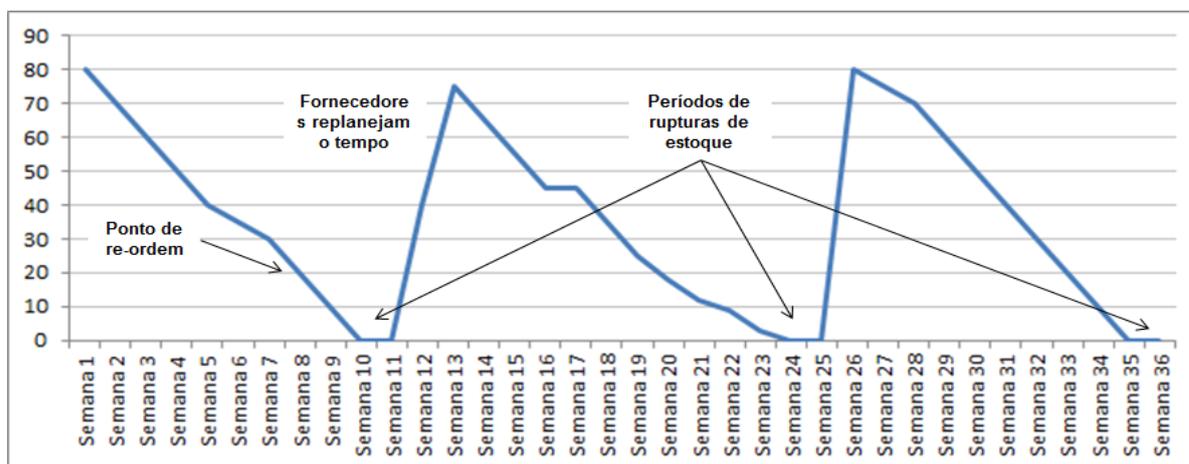
O Modelo de reposição de peças critica o modelo de estoque máximo e mínimo utilizado pela maioria das empresas. Segundo o modelo, o sistema tradicional utiliza três princípios:

1. Mantenha todo o seu estoque no nível mais baixo da cadeia de abastecimento;
2. Só libere uma ordem quando o nível de estoque atingir o nível mínimo;
3. Sempre peça uma ordem levando o estoque para o nível máximo.

Os resultados típicos do sistema tradicional apresentam alguns Efeitos Indesejados (EI), conforme apresentado na Figura 12. São eles:

1. Os níveis de estoque são muito mais elevados do que eles precisam ser;
2. Frequentes "rupturas de stock" de peças;
3. Reativa ao invés de proativa.

**Figura 12** - Comportamento do inventário utilizando sistema de mínimo/máximo



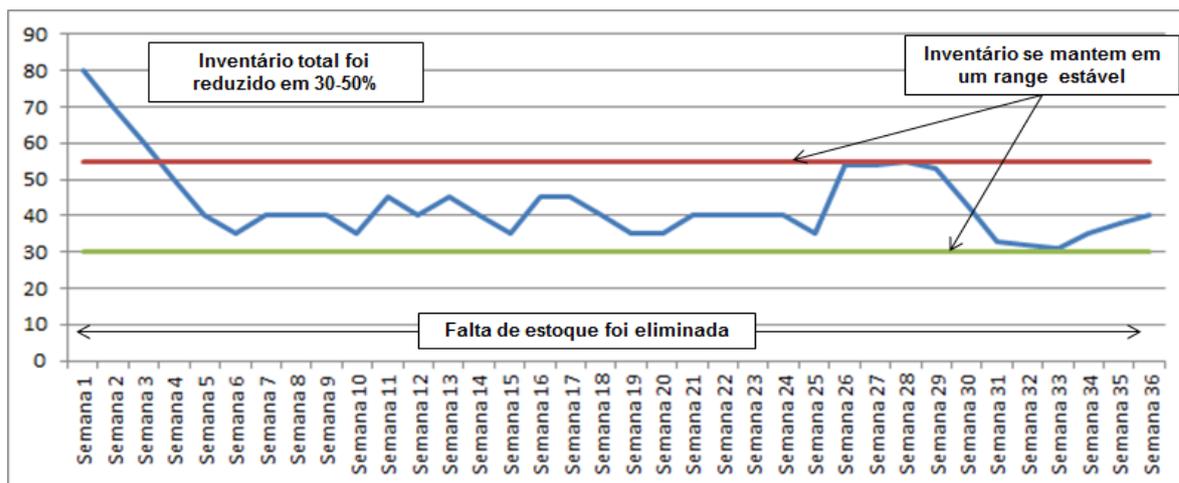
Fonte: Sproull e Nelson (2012).

Para minimizar estes EI, a TOC criou os seus próprios critérios de acordo com o seu modelo de reposição, exposto na Figura 13:

1. A maior parte do inventário deve ser realizado em um nível mais alto do sistema de distribuição (cadeia de abastecimento), e não no nível mais baixo;
2. A utilização de quantidades mínimas/ máximas deve ser abolida, pois os novos pedidos são baseados no tempo de uso e espera, e não na quantidade mínima e máxima;
3. As ordens são acionadas com base nos requisitos de *buffer*, com possíveis ações diárias, conforme a necessidade;

4. O inventário é determinado pela taxa de utilização e reabastecimento do fornecedor. O inventário de *baseline* deve ser igual a 1,5 e se *lead time* é de 1 semana, o *buffer* é definido em 1,5 semanas.

**Figura 13** - Comportamento do inventário utilizando o sistema de distribuição e reposição da TOC

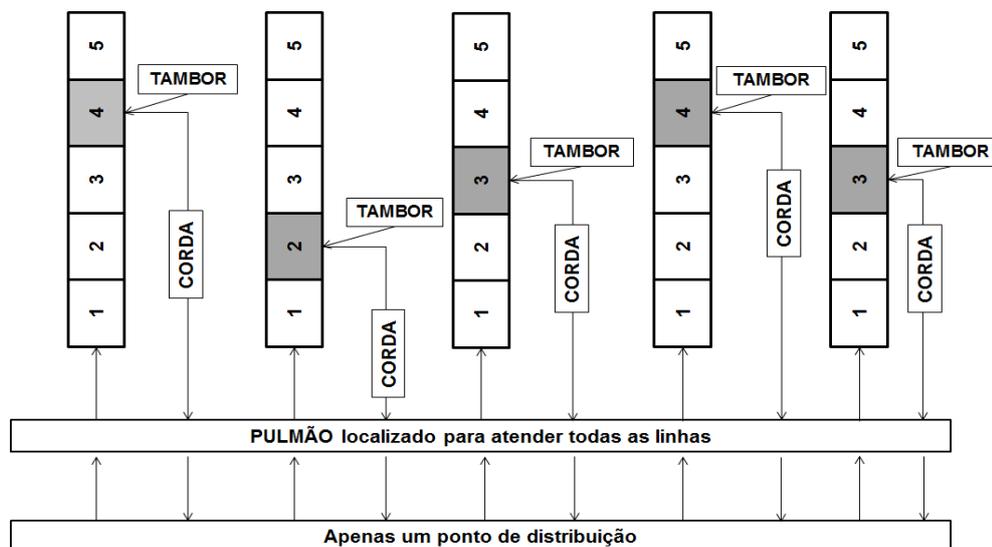


Fonte: Sproull e Nelson (2012).

#### (iv) Multiplicação do sistema Tambor-Pulmão-Corda

Segundo Sproull e Nelson (2012), quando se tem linhas diferentes de produtos no processo produtivo, deve-se utilizar a multiplicação do TPC, ou seja, conhecer a restrição em cada uma das linhas, utilizar o tambor correto para cada uma delas e interligá-lo ao *buffer* por meio da corda, subordinando assim todos os outros recursos, conforme apresentado na Figura 14.

**Figura 14** - Sistema TPC genérico com 5 linhas de produtos diferentes

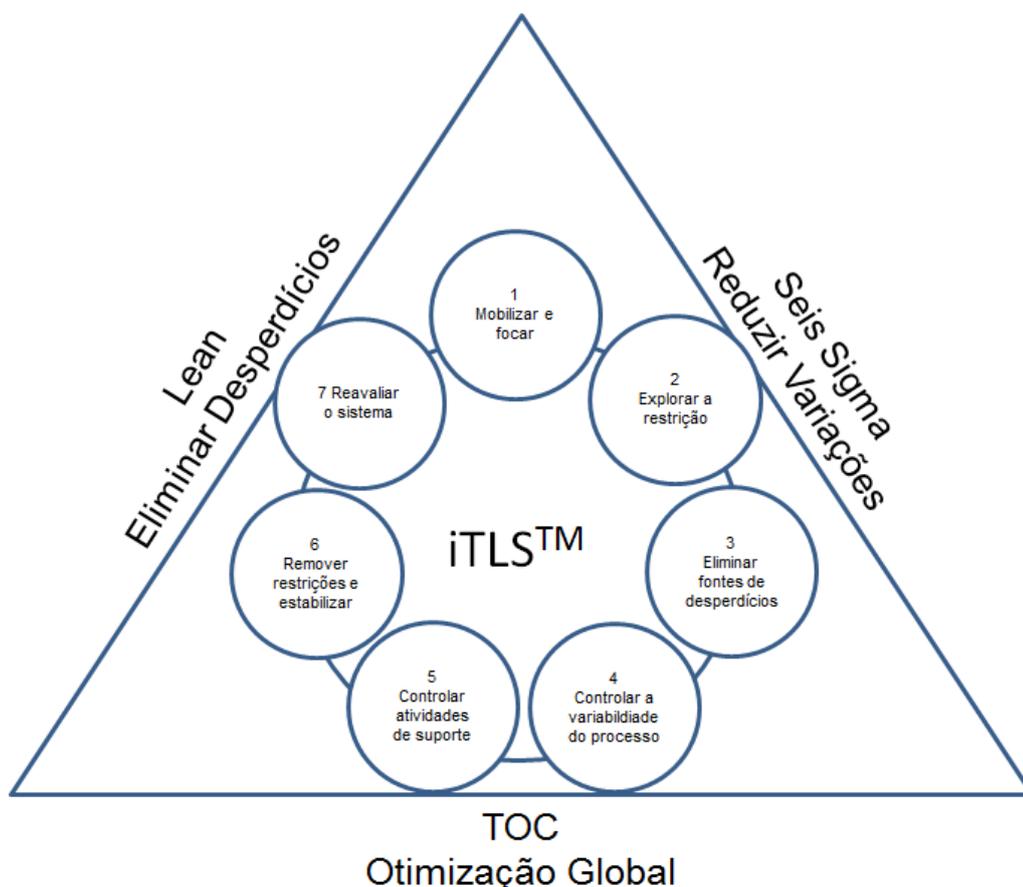


Fonte: Sproull e Nelson (2012).

## 4.2 MODELO DE INTEGRAÇÃO ITLS

O modelo criado por Pirasteh & Farah (2006), batizado de iTLS, utiliza um triângulo incluindo em cada lado uma abordagem, sendo *lean* para a redução de desperdícios, seis sigma para a redução da variação e TOC para a otimização global, conforme apresentado na Figura 15.

Figura 15 - iTLS™



Fonte: Pirasteh e Farah, 2006.

O *roadmap* para implementação do iTLS foi apresentado no artigo “*The synergy of continuous process improvement - Integrating lean, six sigma and TOC can multiply their benefits*” por Pirasteh e Cox (2010) e apresenta os seguintes passos:

1. Mobilização e foco: trata-se de identificar a restrição e o fluxo, identificando os problemas que o segundo possui;
2. Explorar a restrição: o autor trata como utilização máxima da restrição e sugere ferramentas como SMED, melhoria na programação e sequenciamento de máquinas;
3. Eliminar fonte de desperdícios: enxergar os problemas é o foco nesta terceira etapa, a aplicação de 5S e a melhoria no fluxo são as ferramentas aplicáveis;

4. Controlar a variabilidade do processo: utilizar ferramentas estatísticas, *poka yoke* e auditorias do processo;

5. Controlar atividades de apoio: identificar fornecedores diretos da restrição, controlar o desempenho e a variabilidade dos processos alimentadores por meio da utilização de cartas de controle;

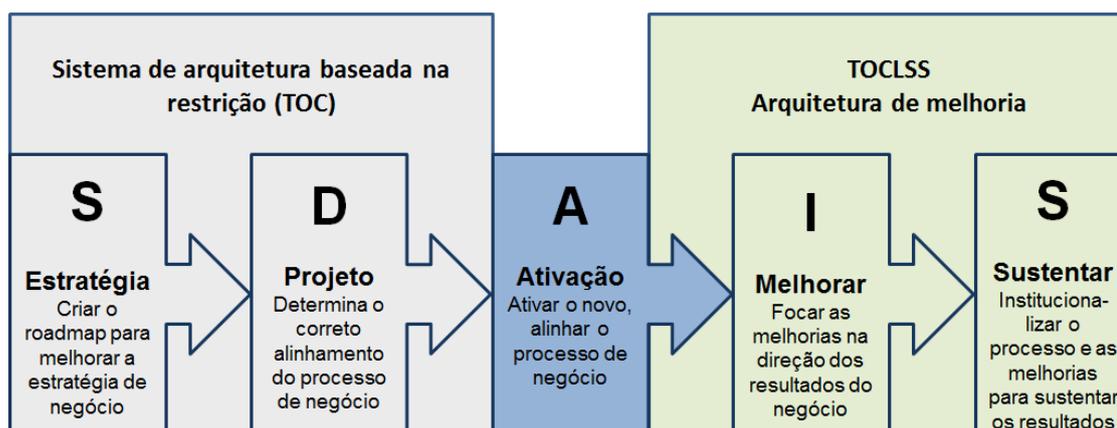
6. Remover a restrição e estabilizar o processo: utilizar ferramentas de estabilidade básica para sustentar os ganhos;

7. Reavaliar o sistema e ir para a próxima restrição: mapear novamente o processo, retornar ao primeiro passo e retomar o ciclo.

#### 4.3 MODELO DE INTEGRAÇÃO TOCLSS

*Velocity* é um livro, também tratado como romance de negócios, que foi traduzido para o português como “Na velocidade da luz - Como integrar a manufatura *lean*, o seis sigma e a teoria das restrições para atingir uma performance extraordinária”, no qual, Jacob et al. (2010) propõem um modelo chamado de TOCLSS (TOC, Lean e Seis Sigma) para a integração das três filosofias, conforme apresenta-se na Figura 16.

**Figura 16 - Roadmap para o sucesso da melhoria contínua (TOCLSS)**



Fonte: Jacob, Bergland e Cox, 2010.

O modelo de integração *Velocity* pretende unir velocidade e direção para o sucesso contínuo dos negócios. Para isso, cinco passos são adotados, sendo que os dois primeiros constituem uma arquitetura do sistema baseada na restrição e os dois últimos uma arquitetura de melhoria baseada na TOCLSS. Entre ambas, existe

a Ativação, que é o terceiro passo da arquitetura geral do *roadmap*. Segue abaixo, uma breve explicação dos cinco passos denominados por Jacob, Bergland e Cox (2010) de SDAIS (*Strategy – Design – Activate – Improve – Sustain*):

**Estratégia (*Strategy*):** no primeiro passo, a ideia é criar uma estratégia para melhorar os resultados do negócio. Para isso, o modelo propõe utilizar a estratégia da TOC de causa-efeito para entender o(s) conflito(s) da organização, validá-los e desenvolver uma realidade futura por meio da identificação de meios para eliminar estes conflitos com base na identificação de “injeções” necessárias para a melhoria do sistema. Isso é feito utilizando um rigoroso sistema de causa-efeito, que mostra, não somente, a sequência, mas também a interdependência dos efeitos indesejados existentes no sistema, o que é diferente da maioria dos planos estratégicos que em geral realiza uma lista de ações para cada departamento. O foco deste passo é utilizar a Árvore da Realidade Atual para desenhar a Árvore da Realidade Futura visando melhorar o desempenho do sistema como um todo.

**Projeto (*Design*):** durante esta fase, os líderes operacionais, engenheiros e principais conhecedores do processo planejam novamente as políticas, medidas de desempenho, regras, responsabilidades e sistemas de informação (SI), utilizando os conceitos da TOC, em conformidade com a definição das injeções do passo anterior.

**Ativação (*Activate*):** no terceiro passo são implementadas as ferramentas gerenciais para realização e controle das políticas, medidas, regras e SI definidos na fase de Projeto.

**Melhoria (*Improve*):** neste passo as melhorias são realizadas com foco no aumento do Ganho e na redução do Inventário e das Despesas Operacionais. Somente neste passo, as ferramentas de manufatura enxuta e seis sigma se integram à filosofia da TOC, no qual o time operacional define quais ferramentas serão utilizadas de acordo com os *gaps* encontrados entre o estado atual e o estado desejado.

Os autores sugerem ferramentas como 5S, Trabalho Padronizado, Troca Rápida de Ferramentas (SMED), Manutenção Produtiva Total (TPM), Sistemas à Prova de Erros (*Poka Yoke*), Gestão Visual, Cartas de Controle (CEP), Delineamento de Experimentos (*DOE*), Estudos de Capabilidade etc.

**Sustentar (*Sustain*):** este último passo foi feito para criar o que os pesquisadores chamam de Memória Organizacional, com base na documentação

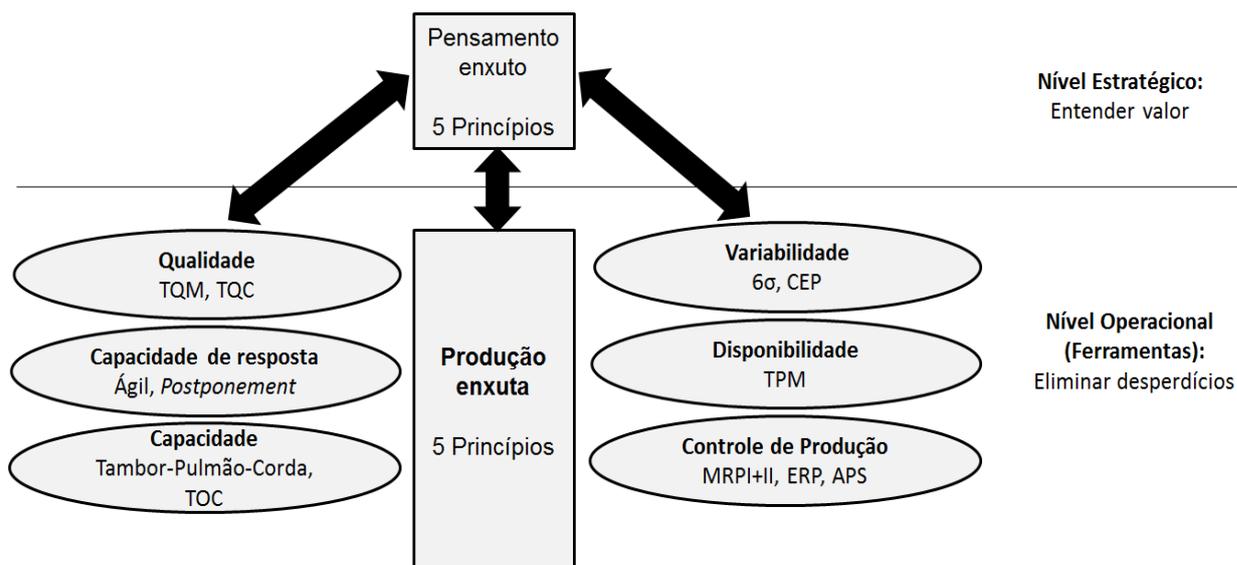
dos passos anteriores. A organização deve rever continuamente os resultados dos *KPIs* para institucionalizar as políticas, medidas e comportamentos para que as melhorias sejam sustentadas e os resultados não sejam perdidos.

#### 4.4 A INTEGRAÇÃO POR MEIO DO MODELO *LEAN THINKING* DE HINES, HOLWEG E RICH (2004)

Outro modelo de utilização das três filosofias foi encontrado em um artigo escrito por Hines, Holweg e Rich (2004). Apesar do artigo não ter como objetivo integrar as três filosofias, os autores entendem que existem lacunas nas abordagens referentes à manufatura enxuta.

Em sua conclusão, uma figura mostra que, de um ponto de vista estratégico, é possível integrar outras abordagens sem contradizer o objetivo central do *lean* - fornecer valor ao cliente. Em outras palavras, qualquer conceito que fornece valor ao cliente pode estar em linha com uma estratégia enxuta, mesmo que as ferramentas de produção enxuta do chão de fábrica, como *Kanban*, nivelamento de programação, ou tempo *takt*, não sejam usadas. E, de fato, há uma série de abordagens complementares que podem ser, e têm sido usadas em conjunto com a manufatura enxuta, conforme apresentado na Figura 17:

**Figura 17** - Framework do Pensamento Enxuto na visão de Hines, Holweg and Rich (2004)



Fonte: Hines, Holweg e Rich 2004.

O *framework* não é discutido em detalhes pelos autores neste artigo. Entretanto utiliza diversas ferramentas para apoiar o pensamento enxuto.

#### 4.5 MODELO DE INTEGRAÇÃO LOOK FORWARD®

Dirgo (2006) apresenta uma metáfora para criar a abordagem Look Forward®, que diz que a metodologia é “FREE (livre) e EASY (fácil) e fará com que a empresa ROAR (rugir - ruja) como nunca o fez anteriormente, para que ao final crie um estado perpétuo de UTOPIA (utopia) para a força de trabalho e para a gestão”.

Estas quatro palavras em inglês, que serão apresentadas a seguir, são usadas como acrósticos que determinam a aplicação da abordagem Look Forward®.

##### FREE

Forecast (Previsão)

Review (Revisão)

Evaluate (Avaliação)

Execute (Execução)

Dirgo (2006) afirma que uma das primeiras e principais preocupações em uma empresa é a demanda prevista de seus clientes, que aliás deve o ponto de partida para o planejamento da produção. Com este conhecimento em mãos, a equipe “olha para trás” para levantar quais problemas podem ter sido encontrados anteriormente. Uma vez que uma revisão abrangente, de qualquer das questões relacionadas com a procura, tenha sido concluída, a equipe passa para a fase de avaliação, na qual as questões do passado são avaliadas para evitar ocorrências futuras.

Além disso, um olhar mais amplo está direcionado à demanda prevista para determinar se existem novos problemas em potencial que podem surgir a partir da perspectiva da equipe.

Segundo Dirgo (2006) esta abordagem do tipo preventiva com visão de futuro otimiza todo um processo, pois previne que os problemas ocorram, e isto é a base para um projeto de qualquer ferramenta de resolução de problemas das filosofias ME, SS ou TOC.

Após a realização da fase de avaliação, a equipe passa para a fase de execução da sua atividade. Neste momento, as atividades preventivas e corretivas são implementadas em preparação para o fluxo posterior da demanda do cliente e as que não agregam valor são removidas ou minimizadas.

Para Dirgo (2006), quando o *roadmap* do Look Forward® é realizado de forma sistemática, o processo flui suavemente tornando-o, quase, livre de defeitos.

## EASY

Encourage (Encorajar)

Abandoning (Abandonar)

Silos (Silos)

Year-round (Durante todo o ano)

Nesta fase, o autor trata da departamentalização ou dos silos de trabalho. A palavra *Easy* serve exatamente para encorajar os líderes a realizarem esta tarefa que na verdade não é nada fácil.

Dirgo (2006) afirma que encorajar as pessoas a abandonarem os silos durante todo o tempo, com o intuito de ir para o processo seguinte, não é uma tarefa fácil.

## ROAR

Replicate (Replicar)

Other (Outro)

Acceptable (Aceitável)

Resolutions (Resoluções)

Nesta fase, Dirgo (2006) retorna ao trabalho realizado na primeira etapa (*FREE*) a fim de se beneficiar da avaliação realizada para replicar nas peças semelhantes, evitando problemas. O autor afirma que 90% dos problemas podem ser prevenidos com a realização do primeiro passo.

Assim, este passo serve para repassar as análises realizadas em alguns produtos que possuem demanda, para outros, mesmo que estes não possuam, de

modo a evitar problemas, quando as procuras surgirem. Mesmo que se gaste tempo fazendo correções ou prevenções em produtos que não têm demanda neste período, é importante realizá-las, pois quando houver, a empresa não terá nenhuma surpresa. Portanto, as boas soluções devem ser replicadas.

## UTOPIA

Upward

Transfer

Of

Potentially

Ingenious

Activity (Transferência Ascendente De Atividade Potencialmente Engenhosa)

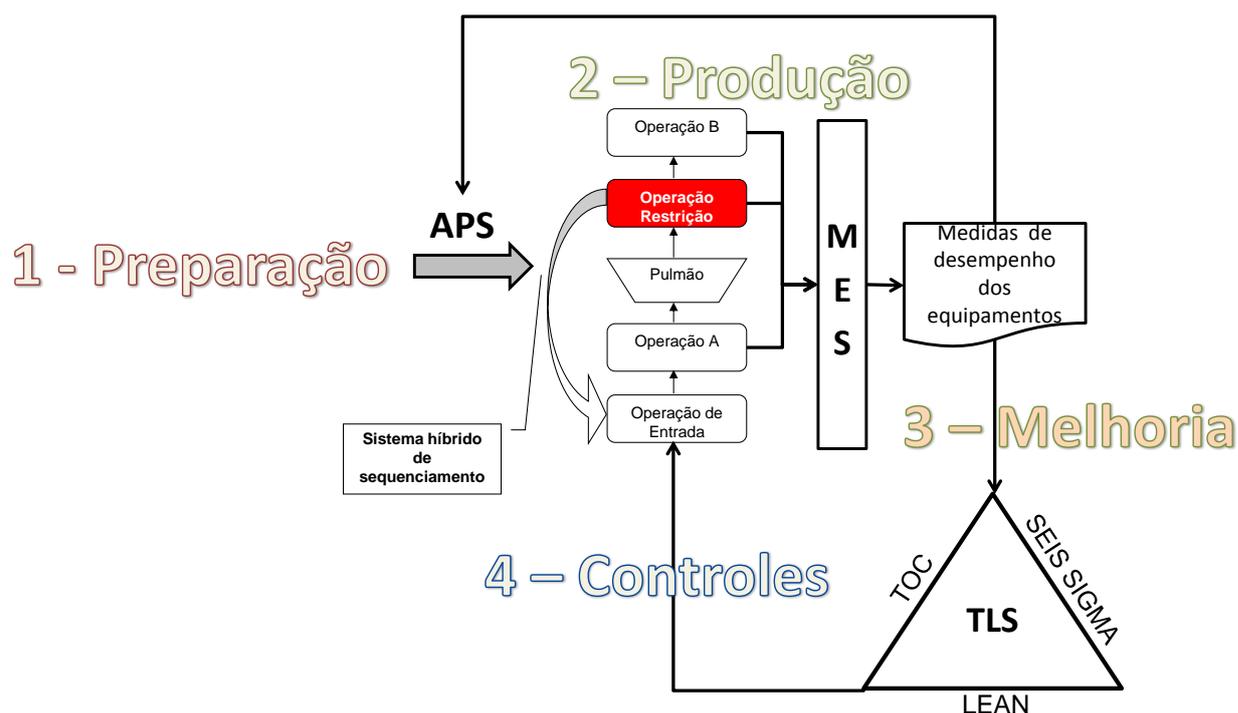
Dirgo (2006) trata a Utopia como o ponto mais próximo da perfeição que uma empresa pode chegar. O autor utiliza o *Empowerment* como o ponto chave para os funcionários se sentirem fortalecidos e poderem “pensar fora da caixa”, realizando melhorias que sejam realmente inovadoras. Algumas ferramentas de manufatura enxuta voltadas para a motivação de pessoal são utilizadas para que as pessoas possam transferir conhecimentos realmente significativos para a melhoria da empresa.

## 5. PROPOSTA DE MODELO DE INTEGRAÇÃO DA TOC, ME E SS, UTILIZANDO MES E APS

Conforme observado na revisão da literatura sobre MES e APS, o uso da tecnologia e dos sistemas de informação pode potencializar a aplicação dos modelos anteriores. Pôde-se observar também que existem algumas dúvidas em relação à utilização do sistema de programação da produção e ao sequenciamento de ordens que deverá ser utilizado: *Kanban*, TPC, *kanban* eletrônico ou um sistema híbrido. O modelo proposto, nesta pesquisa, sugere uma aplicação híbrida do sistema de planejamento da produção.

Na Figura 18, apresenta-se o modelo esquemático sugerido, que é dividido em em 4 partes: Preparação, Produção, Melhoria e Controle.

**Figura 18** - Modelo de Integração da TOC, ME e SS, utilizando MES e APS



Fonte: Elaborado pelo autor.

É possível comparar a fase de Preparação a uma fase de planejamento realizada com o auxílio de um APS. Esta fase serve de entrada para a fase de Produção, que envia as Ordens de Produção sequenciadas utilizando o APS. Estas etapas utilizam o APS e o MES como partes importantes do processo, sendo o

primeiro o *input* e o segundo o *output*. As informações geradas pelo MES por meio dos dados de produção seguem dois caminhos: o primeiro refere-se à análise e realização das melhorias e o segundo, retroalimenta o APS para replanejamento de ordens de produção. Na terceira fase, as Melhorias são realizadas com base na aplicação das ferramentas adequadas de acordo com a análise dos desperdícios e das variações no processo analisado.

A seguir, o fluxo segue para a última etapa de Controle. Um dos grandes desafios dos processos e programas de melhoria contínua é a permanência dos resultados e melhorias. Para isso, foi criada a etapa de controle que utiliza o MES como base de apoio para torná-lo eficiente.

O modelo proposto foi criado baseado nos modelos analisados no capítulo anterior, utilizando as partes mais importantes de cada abordagem e se aproveitando do MES e do APS como os sistemas de informação do modelo integrado, que utiliza a Teoria das Restrições, a Manufatura Enxuta e o Seis Sigma.

A explicação detalhada de cada parte do modelo é apresentada separadamente a seguir.

## 5.1 FASE DE PREPARAÇÃO

Esta é a fase inicial do modelo e compreende os seguintes processos: previsão de demanda, definição do melhor mix, entendimento de valor, identificação da restrição atual e futura, definição dos indicadores, identificação de conflitos da organização e definição de projetos-chave. No Quadro 7, observam-se a referência e as principais atividades de cada etapa.

**Quadro 7 - Fase de Preparação**

ETAPA	REFERÊNCIA	ATIVIDADES ENVOLVIDAS
Previsão de demanda	Dirgo (2006)	✓ Verificar problemas existentes anteriormente para atendimento à demanda.
Definição de melhor mix	Pergher et al. (2011)	✓ Definir mix que maximize o LL utilizando o APS.

Entendimento valor	Hines et al. (2004)	✓ O valor deve ser entendido no plano estratégico.
	Sproull (2009)	✓ Fazer o VSM
	Pirasteh e Farah (2006)	✓ Identificar problemas que o fluxo possui.
Identificação da restrição atual e futura	Sproull (2009)	✓ Identificar restrições para cada linha de produto.
Definição de indicadores	Jacob et al. (2010)	✓ Planejar as medidas de desempenho, políticas, regras, responsabilidades e sistemas de informação.
	Sproull (2009)	✓ Identificar medidas de performance.
Identificação de conflitos da organização	Jacob et al. (2010)	✓ Utilizar a ARA e a ARF para identificar melhorias do sistema.
	Sproull (2012)	✓ Para cada injeção, realizar o MOI.
Definição de projetos-chave	Sproull (2009)	✓ Analisar os desperdícios e variações na restrição atual.

Fonte: Elaborado pelo autor.

**Previsão de demanda:** consiste na fase em que a empresa analisa o que seus clientes esperam receber em um determinado período.

Para Dirgo (2006), esse é o ponto de partida para avaliar o que deu errado nos pedidos anteriores de cada item demandado pelo cliente, seja na qualidade, no prazo de entrega ou nas devoluções ou reclamações, de modo a corrigir e fazer com que os problemas não ocorram novamente.

**Definição do melhor mix:** nesta fase, e com a previsão de demanda definida, deve ser estabelecido o mix de produtos a ser produzido. Utilizando o APS como o sistema de informação para planejamento e programação da produção, deve-se planejar a produção de produtos que forneça um resultado ótimo, considerando informações provenientes do mercado consumidor, ou seja, o mix que maximiza o Ganho.

Pergher et al. (2011) sugerem que existe um novo desperdício definido como “Perda por má definição do mix de produtos”.

**Entendimento de valor:** este item é tão importante que foi abordado em todos os modelos encontrados.

Hines et al. (2004) mostram que o entendimento de valor tem que ser tratado no nível estratégico, pois é vital para o sucesso das empresas e para entendê-lo é sugerido realizar o Mapeamento do Fluxo de Valor.

Para Pirasteh e Farah (2006), trata-se da identificação da restrição e dos problemas que o fluxo possui. Este mapeamento servirá de base para diversos passos futuros e para desenhar o MFV futuro.

**Identificação da restrição atual e futura:** para Sproull (2009), a identificação da restrição atual não é suficiente, ou seja, deve-se identificar também qual será a próxima restrição do sistema. Ainda segundo o autor, a identificação da próxima restrição é tão importante quanto à identificação da atual, devido ao planejamento de recursos.

**Definição de indicadores:** esta é uma fase de muita importância, pois a escolha correta dos indicadores permite que todos enxerguem o andamento dos negócios, cada um em seu raio de atuação, e tomem medidas organizadas para contornar os problemas e fazer a organização seguir com seu objetivo de “ganhar dinheiro hoje e no futuro”. A definição dos indicadores nesta fase é estabelecida em âmbito estratégico e desdobrada para os níveis táticos e operacionais.

Jacob et al. (2010) afirma que é muito importante utilizar os indicadores globais e locais da TOC nesta etapa. O modelo proposto neste estudo sugere que sejam utilizados os indicadores de variação empregados no SS e os indicadores de desempenho das máquinas utilizados na ME, principalmente da restrição e da próxima restrição, para que sejam realizadas as melhorias e para que seja analisado o impacto nos indicadores globais.

**Identificação de conflitos na organização:** Neste passo, são aplicadas as Árvore da realidade da TOC para identificar meios para eliminar conflitos existentes na organização, que limitam o seu crescimento.

Para Jacob et al. (2010) este é um modelo diferente dos demais planejamentos estratégicos, pois realiza uma lista global e mostra as interdependências, diferentemente das ações departamentalizadas.

Com as injeções resultantes da ARA, Sproull (2012) sugere a realização do Mapeamento de Objetivos Intermediários e este passo busca obter melhorias sistêmicas na organização, que podem refletir nas áreas de produção que são o foco deste estudo.

**Definição de projetos-chave:** No fim da fase de Preparação, já é possível obter os primeiros projetos do portfólio referentes aos projetos de melhoria por meio da análise do MFV Futuro, do MOI e da observação do comportamento dos indicadores de desempenho.

## 5.2 FASE DE PRODUÇÃO

Após a obtenção das informações extraídas na fase de Preparação, com base no APS, inicia-se a fase de Produção. No Quadro 8, a seguir, mostram-se as principais etapas envolvidas neste momento, que são: Treinamento, Implementação de sistema híbrido de produção, Subordinação de tudo à restrição e Definição de como explorar a restrição.

**Quadro 8 - Fase de Produção**

ETAPA	REFERÊNCIA	ATIVIDADES ENVOLVIDAS
Treinamento	Dirgo (2006)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Palestras de engajamento com a liderança e pessoal de chão de fábrica;</li> <li>✓ Utilização de ferramentas de engajamento.</li> </ul>
Implementação de sistema híbrido de sequenciamento	APS	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Sequenciamento de Produção utilizando a</li> </ul>

de produção		combinação dos métodos <i>kanban</i> , <i>kanban</i> eletrônico e tambor-pulmão-corda
Subordinação de tudo à restrição	Sproull (2009)	✓ Implementar produção puxada para subordinar os recursos não-restrição ao recurso restrição em cada linha de produto.
	Sproull e Nelson (2012)	✓ Implantar o modelo de reposição de peças da TOC para sistemas MTS, estoque de peças de reposição, matéria-prima e distribuição.
Definição de como explorar a restrição	Sproull (2009)	✓ Ajudar a restrição a produzir mais.
	Pirasteh e Farah (2006)	✓ Reduzir tempo de processamento.

Fonte: Elaborado pelo autor.

**Treinamento:** nesta etapa, os principais conceitos devem ser explicados a toda a liderança e ao pessoal de chão de fábrica. As definições do passo anterior devem ser mostradas a aqueles que não participaram do processo, pois as regras, as políticas e os indicadores devem ser entendidos por todos.

Para Dirgo (2006), é nesta etapa que as pessoas devem ser encorajadas a abandonarem a departamentalização, para que possam enxergar toda a empresa.

**Implementação de sistema híbrido de sequenciamento de ordens:** a decisão de qual sistema de sequenciamento utilizar, deve ser tomada de acordo com o objetivo estratégico da empresa e do tipo de processo produtivo envolvido (NAZARENO, 2008).

O mais importante para o funcionamento do modelo é possuir o “processo puxador” que pode ou não ser o recurso gargalo para cada linha, desde que o

pulmão de proteção seja garantido para o recurso “gargalo”. O APS pode simular a limitação de WIP a frente de recursos não-restrição, evitando o superprocessamento.

Souza et al. (2002) relacionaram os sistemas de sequenciamento da produção com critérios de alocação de capacidade e concluíram que um determinado sistema de PCP pode ser muito bom para algumas situações particulares, mas também pode não ser para outras.

Para Nazareno (2008), as diversas peculiaridades de cada processo produtivo são decisivas para saber quais métodos de sequenciamento utilizar, como: tempos de ciclo muito distintos entre os recursos, compartilhamento de diversos recursos em fluxo de valor distintos, distância entre processos adjacentes, *lead time* elevado e baixa confiabilidade para operarem em conjunto com outros processos.

**Subordinação de tudo à restrição:** A Figura 18 mostra uma linha de produção de um produto, no qual o recurso em vermelho é a restrição.

Sproull (2009) reforça que deve ser implementado uma produção puxada para subordinar os recursos não-restrição ao recurso restrição em cada linha de produto. Os engenheiros e analistas devem programar o APS de acordo com o modelo de produção puxada que deverá ser implementado, tais como: TPC, *Kanban*, *Kanban* eletrônico ou um sistema híbrido. Algumas simulações podem ser realizadas para tomar a decisão de qual sistema maximiza o Ganho para cada tipo de processo produtivo. É possível observar um sistema com 5 linhas de produto na Figura 14. A atenção aos recursos fornecedores da restrição deve ser dada para que não falte material para o recurso restrição. Outro importante ponto de controle é o Pulmão, que deve estar antes do recurso restrição para que haja material para processar. Os recursos à jusante da restrição devem processar o material o mais rápido possível, de modo a torná-lo uma unidade da meta.

Sproull e Nelson (2012) consideram a implantação do modelo de reposição de peças da TOC como algo vantajoso para o sistema em relação ao modelo tradicional de máximo e mínimo, conforme apresentado no capítulo anterior.

**Definição de como explorar a restrição:** durante e após a realização da produção é possível observar o comportamento dos recursos produtivos,

principalmente a restrição por meio da observação do *gemba* e dos indicadores gerados pelo MES. Os dados de parada de máquina e as informações fornecidas pelos operadores fornecerão os indicadores de eficiência global do equipamento (OEE), o tempo médio entre falhas (MTBF) o tempo médio de reparo (MTTR) e os indicadores relacionados à qualidade (retrabalho, taxa de defeito etc.). A análise destes indicadores irá mostrar quais os principais pontos de desperdícios e quais as principais variações no processo.

Sproull (2009) afirma que se deve explorar a restrição e ajudá-la a produzir mais.

Já Pirasteh (2006) defende a redução do tempo de processamento. Desta forma, os especialistas de produção e melhoria contínua devem definir qual a melhor ferramenta a ser utilizada.

### 5.3 FASE DE MELHORIA

Esta é uma fase presente em todos os modelos analisados, no capítulo anterior, e está dividida em duas etapas principais, que são a Redução de desperdício e da variação na restrição atual e a Análise de informações do chão de fábrica, conforme pode ser observado no Quadro 9:

**Quadro 9** - Fase de Melhoria

ETAPA	REFERÊNCIA	ATIVIDADES ENVOLVIDAS
Redução de desperdício e da variação na restrição atual	Sproull e Nelson (2012)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <i>Kaizen</i> de processo;</li> <li>✓ SMED;</li> <li>✓ Cartas de controle.</li> </ul>
	Jacob et al. (2010)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Focar as melhorias na direção dos resultados do negócio.</li> </ul>

	Pirasteh e Farah (2006)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ SMED;</li> <li>✓ Melhoria na programação e sequenciamento de máquinas.</li> </ul>
Análise de informações do chão de fábrica	MES	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ As informações devem ser analisadas novamente sempre que for efetuada uma nova melhoria.</li> </ul>

Fonte: Elaborado pelo autor.

**Redução do desperdício e da variação na restrição atual:** Sproull e Nelson (2012) possuem como foco a redução de desperdício e a variação no processo.

Jacob et al. (2010) afirmam que se devem focar as melhorias na direção dos resultados do negócio.

Pirasteh e Farah (2006) defendem a utilização de ferramentas de melhoria do fluxo para trazer resultados significativos.

**Análise de informações de chão de fábrica:** as medidas de desempenho dos equipamentos são de extrema importância para a realização das melhorias. Assim, a acuracidade destas informações são requeridas para a confiabilidade no processo de melhoria contínua da produção. O MES fornece esta acuracidade, uma vez que os tempos de produção e de *downtime* são retirados diretamente de sinais elétricos ou do CLP da máquina, sendo os motivos apontados pelos operadores, dependendo do nível de automação existente nos equipamentos.

#### 5.4 FASE DE CONTROLE

A fase de Controle é a última etapa do modelo, mas não menos importante, e é composta pelas seguintes etapas: Definição de controles para proteção do pulmão, Controle para sustentar ganhos e Controle de atividades de apoio, conforme apresentado no Quadro 10:

Quadro 10 - Fase de Controle

ETAPA	REFERÊNCIA	ATIVIDADES ENVOLVIDAS
Controles para proteção do pulmão	Sproull (2009)	✓ Utilizar buffer para proteger a restrição
Controle para sustentar ganhos	Sproull (2009) Pirasteh e Farah (2006)	✓ Auditorias ✓ Cartas de controle ✓ Poka yoke ✓ Cadeia de ajuda ✓ TPM ✓ 5S e Gestão Visual
Controle de políticas e atividades de apoio	Pirasteh e Farah (2006)	✓ Controlar performance dos fornecedores diretos da restrição

Fonte: Elaborado pelo autor.

**Controles para proteção do pulmão:** é o controle do pulmão que protege a restrição.

Para Sproull (2009), é o pulmão que permite que a restrição tenha trabalho, mesmo que algum fornecedor à montante tenha seu fluxo interrompido por determinado período. O tamanho do *buffer* é definido pelo APS, e é possível utilizar o MES para controlá-lo e para evitar que ele não fique alto demais, gerando custos desnecessários, ou baixos demais, o que pode comprometer a produtividade da restrição.

**Controle para sustentar ganhos:** a sustentabilidade dos ganhos é um grande desafio para as empresas em geral, pois não é possível implementar sistemas à prova de erros para todos os projetos, já que a maioria dependerá das pessoas para seguir o procedimento operacional realizado.

Deste modo, Pirasteh e Farah (2006) sugerem a implementação de auditorias no processo para verificar a utilização correta dos sistemas implementados. As ferramentas de engajamento utilizadas para que as pessoas do chão de fábrica sejam parte da melhoria como 5S, TPM e Gestão Visual e as Cartas de Controle são importantes no processo de consolidação das melhorias. O MES, mais uma vez,

pode ser importante, para indicar que um processo perdeu rendimento, o que pode ser o sinal de uma melhoria que não foi sustentada no processo.

Jacob et al. (2010) chama esta etapa de “Memória Organizacional” e afirma que a empresa deve rever continuamente os resultados dos kpi’s para que as melhorias sejam sustentadas.

**Controle de políticas e atividades de apoio:** nem sempre as atividades de apoio deverão ser melhoradas, mas é muito importante controlá-las para que não haja riscos ao sistema. Controlar a performance dos equipamentos por meio de indicadores como MTBF, MTTR, OEE e das variações com as cartas de controle são importantes para que a resolução dos problemas sejam antecipada e para que seja reconhecido um possível surgimento de um novo gargalo. O MES também é muito útil nesta etapa.

Para Jacob et al. (2010), o controle das políticas, das medidas e dos comportamentos é fundamental para que as melhorias sejam sustentadas.

## 6. CONCLUSÃO

Este estudo mostrou que a integração das três filosofias pode ser uma alternativa para minimizar os impactos dos “extremismos” de cada escola de pensamento: a TOC afirma que qualquer esforço que não seja na restrição é perda de tempo; a ME propõe reduzir qualquer desperdício encontrado no *gemba* e o SS quer reduzir todas as variações a níveis ínfimos.

Com base na análise bibliográfica existente sobre os modelos integrados encontrados na literatura e o modelo conceitual desenvolvido, algumas proposições foram estabelecidas:

- ME entra em uma nova fase que sugere integrações com outras filosofias, complementando o estudo realizado por Stone (2012);
- Não é possível implementar sistemas à prova de falha em qualquer processo utilizando baixos investimentos, assim, torna-se necessário que seja implementada auditorias na fase de Controle para verificar a sustentação das melhorias nos processos;
- A utilização do MES evita desperdícios com a coleta e compilação de dados, aumentando o tempo para análise e melhorias;
- O MES auxilia na comprovação dos resultados das investidas de melhoria de desempenho dos equipamentos e no processo que forem realizados por meio da medição em tempo real, antes e depois das melhorias;
- A utilização de um *buffer* antes da restrição é essencial independente do modelo de sequenciamento a ser utilizado, pois oferece mais segurança ao processo produtivo, evitando que o gargalo fique ocioso;
- O APS é importante para poder simular, antecipadamente, quais serão os resultados para cada método de programação escolhido;
- A utilização do MES permite o acompanhamento em tempo real das principais medidas de desempenho operacionais, permitindo uma ação rápida e a utilização das ferramentas de melhorias mais apropriadas;
- O modelo proposto mede todos os recursos produtivos para saber o que está acontecendo com cada recurso, mesmo que não seja o momento de realizar melhorias, pois a ineficiência deste recurso pode trazer

problemas de fluxo, aumentar as despesas operacionais e os investimentos com manutenção e podem enviar produtos com qualidade insuficiente para o recurso gargalo. Por este motivo, este modelo difere dos demais;

- Os softwares APS podem calcular o *takt time* muito mais rapidamente em casos de demandas variáveis e quando os produtos têm operações diversificadas, podendo também simular variadas situações antes de realizar o sequenciamento.
- É possível introduzir o MES e/ou o APS a qualquer outro modelo, sem ter necessidade de criar um novo. A intenção do estudo foi incluir elementos bons de cada modelo existente a um novo.

O presente trabalho atingiu o objetivo principal, por meio do desenvolvimento do modelo conceitual, e os objetivos secundários foram atingidos com base na revisão bibliográfica e na proposta deste modelo.

A realização deste estudo tem valor acadêmico e é de caráter exclusivo, pois não foram encontrados, na literatura, modelos que tenham a aplicação do MES e do APS, juntamente com um modelo integrado das abordagens TOC, ME e SS. Ademais, possui também um valor social, pois a utilização das abordagens integradas na manufatura ainda não está totalmente disseminada, e o uso do MES e do APS pode apoiar a integração destas abordagens. Além disso, uma validação empírica do modelo é necessária para validar a aplicação do mesmo em termos práticos.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R. L. R. Uma abordagem para aplicação de projetos Seis Sigma baseada na Teoria das Restrições. In: XXVI ENEGEP, Fortaleza, out. 2006.

ALUKAL, G. Create a Lean, Mean Machine. **Revista Quality Progress**, p. 29-35, 2003.

\_\_\_\_\_. All about lean. **Revista Quality Progress**, v. 39, n. 2, p. 74-75, 2006.

ALVAREZ, R. D. R., ANTUNES, J. A. V. Takt-time: conceitos e contextualização dentro do Sistema Toyota de Produção. **Gestão & Produção**, v.8, n.1, p.1-18, abr. 2001.

ALVES, A.; COGAN, S.; DE ALMEIDA, R. S. Utilizando o processo de raciocínio da teoria das restrições para a gestão de projetos de pesquisas e atividades científicas. **Revista Eletrônica Sistemas & Gestão**, 5 (3) 161-178, 2010.

ANDRADE, A. L. Pensamento sistêmico: um roteiro básico para perceber as estruturas da realidade organizacional. **Revista eletrônica de Administração**, Ed., v. 3, n. 1, mai./ jun. 1997.

ANOSIKE, A. I.; LIM, M. K. Integrating lean, theory of constraints and triz for process innovation. **Revista/ Livro/ Local de publicação, 2013.**

ATHAVALE, R.; CRISTOVÃO, L. Teoria das Restrições - Kit Faça Você Mesmo para Pequenas & Médias Empresas para Produção (Operações). Disponível em: <<https://leanpub.com/portuguese manufacturing>>. Acesso em: mês 2013.

AZEVEDO, S. G.; CARVALHO, H. Contribution of RFID technology to better management of fashion supply chains. **International Journal of Retail & Distribution Management**, v.40(2), p.128-156, 2012.

BENDAVID, Y.; BOECK, H.; PHILIPPE, R. Redesigning the replenishment process of medical supplies in hospitals with RFID. **Business Process Management Journal**, v.16(6), p.991-1013, 2010.

BENDEL, T. A review comparison of six sigma and the lean organisation. **The TQM Magazine**, v.18, n. 3, p. 255-262, 2006.

BERTO, R. M. V. S; NAKANO, D. N. Produção Científica nos Anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção: Um Levantamento de Métodos e Tipos de Pesquisa. **Produção**, v. 9, n. 2, p. 65-76, 2000.

CESAROTTI, V.; SPADA, C. A systemic approach to achieve operational excellence in hotel services. **International Journal of Quality and Service Sciences**, v. 1, p. 51 - 66, 2009.

CHAKRAVORTY, S. S. Six sigma programs: an implementation model. **International Journal of Production Economics**, v. 119, p. 1-16, 2009.

CORBETT NETO, T. **Contabilidade de ganhos**. São Paulo: Ed. Nobel, 1997.

CORONADO, R. B.; ANTONY, J. Critical success factors for the successful implementation of six sigma projects in organisations. **The TQM Magazine**, v. 14, p. 92-99, 2002.

COTTYN, J.; LANDEGHEM, H. V.; STOCKMAN, K.; DERAMMELAERE,S. A lean MES analysis to provide automated Value Stream Mapping. In: Production Research, 20th International conference, Proceedings, Shangai, ago. 2009.

COX, J. F.; SPENCER, M. **The Constraints Management Handbook**. Boca Raton, FL: St. Lucie Press, 1998.

DELOTT, C.; GUPTA, P. Characterization of copperplating process for ceramic substrates. **Quality Engineering**, v. 2, p. 269-284, 1990.

DENNIS, P. **Produção lean simplificada**. 2. ed., Porto Alegre: Bookman, 2008.

DETTMER, H. W. Goldratt's theory of constraints: a system approach to continuous improvement. Milwaukee, WI: **ASQ Quality Press**, 1997.

\_\_\_\_\_. Beyond Lean manufacturing: Combining Lean and the Theory of Constraints for higher performance. Port Angeles, USA, 2001.

DIRGO, R. Look forward beyond lean e six sigma: a self-perpetuating enterprise improvement method. Flórida, USA: **Hardcover**, 2006.

DROHOMERETSKI, E.; COSTA, S. E. G.; LIMA, E. P.; GARBUIO, P. A. R. Lean, Six Sigma and Lean Six Sigma: an analysis based on operations strategy. **International Journal of Production Research**, n. ahead-of-print, p. 1-21, 2013.

DRUCKER, P.F. **What we can learn from japanese management**. Harvard Business Review, p. 110-22, 1971.

ECKES, G. **A revolução do Seis Sigma: o método que levou a GE e outras empresas a transformar processos em lucros**. 3. ed., Rio de Janeiro: Campus, 2001.

EHIE, I.; SHEU, J. 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.

ERHART, A.; FAÉ, C. S. Lean manufacturing e os softwares APS – como aplicar o lean manufacturing na prática com a utilização dos softwares APS. **Revista Mundo Logística**. 22. ed., p. 66 – 71, 2011.

FERRO, J. R. **A essência da ferramenta “Mapeamento do Fluxo de Valor”**. Lean Institute Brasil, Porto Alegre. 2005. Disponível em: <<http://www.lean.org.br/colunas/11/Jose-Roberto-Ferro.aspx?id=214>>

GLIWIŃSKI, M.; SZPYTKO, J. Device distribution system productivity monitoring - manufacturing execution system on the rolling mill example. **Journal of Konbin**, 2010.

GODINHO, F.; UZSOYB, R. Assessing the impact of alternative continuous improvement programmes in a flow shop using system dynamics. **International Journal of Production Research**, v. 52, 2013.

GOLDRATT, E. M.; COX, J. **A meta**: um processo de aprimoramento contínuo. 2 ed. São Paulo: Nobel, 2003.

GOLDRATT, E. M. **Não é sorte**. 1 ed. São Paulo: Nobel, 2004.

GOLDRATT, E. M. Standing on the Shoulders of Giants – production concepts versus production applications The Hitachi Tool Engineering example. **Gestão da Produção**, v. 16, n. 3, p. 333-343, jul-set. 2009.

GROSSARD, J. H.; CRISTOVÃO, L. “**A meta**” **revisitada**. Disponível em: <<https://leanpub.com/metarevisitada>> mar. 2014.

GRZYBOWSKA, K.; GAJDZIK, B. Optymisation of equipment setup processes in enterprises. **Metalurgija**, v. 51(4), p. 555-558, 2012.

GUPTA, A. K.; GARG, R. K. OEE improvement by TPM implementation: a case study. **International Journal of IT, Engineering and Applied Sciences Research**, v. 1, p. 115-124, 2012.

GUPTA, M. C.; BOYD, L. H. Theory of constraints: a theory for operations management. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 28, p. 991-1012, 2008.

HADAYA, P.; CASSIVI, L. The role of joint collaboration planning actions in a demand-driven supply chain. **Industrial Management & Data Systems**, v.107(7), p. 954-978, 2007.

HINES, P.; HOLWEG, M.; RICH, N. Learning to evolve: A review of contemporary lean thinking. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 24, n. 10, p. 994-1011, 2004.

HO, S. K. Integrated lean TQM model for sustainable development. **The TQM Journal**, v. 22, n. 6, p. 583-593, 2010.

HUSBY, P. Competition or Complement: Six Sigma and TOC. **Material Handling Management**. p. 51-55, 2007.

IVERT, L. K.; JONSSON, P. The potential benefits of advanced planning and scheduling systems in sales and operations planning. **Industrial Management & Data Systems**, v. 110, p. 659-681, 2010.

IWASE, M.; OHNO, K. The performance evaluation of a multi-stage JIT production system with stochastic demand and production capacities. **European Journal of Operational Research**, v. 214(2), p. 216-222, 2011.

JACOB, D.; BERGLAND, S.; COX, J. **Velocity: Combining Lean, Six Sigma and the Theory of Constraints to achieve breakthrough performance - A business novel**. Free Press, New York, 2009.

JIN, K. J.; HYDER, A. R.; Y. ELKASSABGI, Y.; ZHOU, H.; HERRERA, A. Integrating the Theory of Constraints and Six Sigma in Manufacturing Process Improvement. **Proceedings of world academy of science, engineering and technology**, v. 37, 2009.

KARTHI, S.; DEVADASAN, S. R.; MURUGESH, R. Integration of Lean Six-Sigma with ISO 9001: 2008 standard. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 2, n. 4, p. 309-331, 2011.

KIM, S.; MABIN, V. J.; DAVIES, J. The theory of constraints thinking process: retrospect and prospect. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 28, n. 2, p. 155-184, 2008.

KOPAK, S. C. Uma contribuição à gestão da produção pelo uso da teoria das restrições. 2003. Dissertação (Mestrado Engenharia de Produção e Sistemas) - Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Paraná, 2003.

KRAFCIK, J.F. **Triumph of the Lean Production System**. Sloan Management Review 30, Fall, p. 41-52, 1988.

KUMAR, B. S.; ABUTHAKEER, S. S. Implementation of Lean Tools and Techniques in an Automotive Industry. **Journal of Applied Sciences**, v. 12(10), p.1032, 2012.

LAGE JUNIOR, M.; GODINHO FILHO, M. Variations of the *kanban* system: Literature review and classification. **International Journal of Production Economics**, v. 125(1), p.13-21, 2010.

LAKATOS, E. M. ; MARCONI M. A. **Fundamentos da metodologia científica**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

LIDELL, M. **O pequeno livro azul da programação da produção**. Tecmaran, 3. Ed. Vitória, 2008.

LIKER, J. K.; BURR, K. Advanced Planning Systems as an Enabler of Lean Manufacturing. **Automotive Manufacturing & Production**, feb. 1999.

MARIN-GARCIA, J. A.; VAL, M. P.; MARTIN, T. B. Longitudinal study of the results of continuous improvement in an industrial company. **Team Performance Management**, v. 14, n. 1/2, p. 56-6, 2008.

MARUDHAMUTHU, R.; KRISHNASWAMY, M.; PILLAI, D. M. The development and implementation of lean manufacturing techniques in indian garment industry. **Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering**, v. 5(6), p. 527-532, 2011.

MATSUI, Y. An empirical analysis of just-in-time production in Japanese manufacturing companies. **International Journal of Production Economics**, v. 108(1), p. 153-164, 2007.

MCINTOSH, R.; OWEN, G.; CULLEY, S.; MILEHAM, T. Changeover improvement: Reinterpreting Shingo's "SMED" methodology. **IEEE Transactions On Engineering Management**, v. 54(1), p. 98-111, 2007.

MEREDITH, J. Theory building through conceptual methods. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 13, n. 5, p. 3-11, 1993.

MERGULHÃO, R. C.; MARTINS, R. A. Relação entre sistemas de medição de desempenho e projetos Seis Sigma: estudo de caso múltiplo. **Produção**, v. 18, n. 2, p. 342-358, 2008.

MIGUEL, P. A. C. **Metodologia de pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. 2. ed. São Paulo: Elsevier, 2012.

MORA JUNIOR, C. H.; LIMA, E. Descontinuidade de programas seis sigma: um estudo comparativo de casos. **REGE**, São Paulo, v. 18, n. 4, p. 639-658, out./ dez. 2011.

MOREIRA, A. C.; PAIS, G. C. S. Single minute exchange of die: a case study implementation. **Journal of Technology Management and Innovation**, v. 6(1), p.129-146, 2011.

MORELLI, D.; CAMPOS, F. C.; SIMON, A. T. Sistemas de Informação em Gestão da Cadeia de Suprimento. **Revista de Ciência & Tecnologia**, v. 17, n. 33, p. 25-38, jan./ jun. 2012.

NAKAJIMA, S. **Introduction to Total Productive Maintenance**. Cambridge: Productivity Press, 1988.

NASLUND, D. Lean, six sigma and lean sigma: fads or real process improving methods? **Business Process Management Journal**, v. 14, n. 3, p. 269-287, 2008.

NAVE, D. **How to compare Six Sigma, Lean and the Theory of Constraints**. **Quality Progress**, p. 73-78, 2002.

NAZARENO, R. R. Desenvolvimento de sistemas híbridos de planejamento e programação da produção com foco na implantação de manufatura enxuta. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2008.

NETO, A. R.; BORNIA, A. C. Árvore da realidade futura (ARF): aplicação no Curso de administração da UNOESC campus Chapecó. In: XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Curitiba, out. 2002.

NEUMANN, C. S. R.; RIBEIRO, J. L. D. Desenvolvimento de fornecedores: um estudo de caso utilizando a troca rápida de ferramentas Supply chain development: a case study applying the single minute exchange of die technique. **Produção**, v. 14(1), p. 4, 2004.

OKIMURA, L. I.; SOUZA, F. B. Análise dos modelos de integração das abordagens teoria das restrições, produção enxuta e seis sigma: um estudo teórico. In: VIII Congresso Nacional de Excelência em Gestão, Rio de Janeiro, jun. 2012.

OPRIME, P. C.; MENDES, G. H. S.; PRIMENTA, M. L. Fatores críticos para melhoria contínua em indústrias brasileiras. **Produção**, v. 21, n. 1, p. 1-13, jan./ mar, 2011.

PACHECO, D. A. J.; ANTUNES JUNIOR, J. A. Uma discussão sobre a integração entre teoria das restrições, lean e seis sigma para a melhoria contínua. In: XXXI ENEGEP, Belo Horizonte, out. 2011.

PATEL, S.; DALE B. G.; SHAW, P. Set-up time reduction and mistake proofing methods: an examination in precision component manufacturing. **The TQM Magazine**, v.13(3), p. 175-179, 2001.

PERGHER, I.; RODRIGUES, L.H.; LACERDA, D. P. Discussão teórica sobre o conceito de perdas do sistema toyota de produção: inserindo a lógica do ganho da teoria das restrições. **Gestão & Produção**, São Carlos , v. 18, n. 4, 2011.

PETTERSEN, J.; SEGERSTEDT, A. Restricted work-in-process: A study of differences between *Kanban* and CONWIP. **International Journal of Production Economics**, v. 118(1), p. 199-207, 2009.

PIRASTEH, R. M.; FARAH, K. S. Continuous Improvement Trio. **APICS Magazine**, p. 31-33, 2006.

PIRASTEH, R. M.; FOX, R. E. Profitability with no boundaries: optimizing toc and lean six sigma. **ASQ Quality Press**, 2010.

POWELL, D. ERP systems in lean production: new insights from a review of lean and ERP literature. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 33(11/12), p.1490-1510, 2013.

PPI-MULTITASK. O que é APS – Advanced Planning and Scheduling Systems? Disponível em: <<http://www.ppi-multitask.com.br/blog/o-que-e-aps-advanced-planning-and-scheduling-systems>>. Acesso em: jan. 2014.

RAMOS, M. Z. R. G. Sincronização da Cadeia de Valor através da Integração da Teoria das Restrições e Produção Lean. 2010. Dissertação (Mestrado em - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa, 2010.

RIEZEBOS, J.; KLINGENBERG, W. Advancing lean manufacturing, the role of IT. **Computers in Industry**, v. 60(4), p. 235-236, 2009.

ROTH, N.; FRANCHETTI, M. Process improvement for printing operations through the DMAIC Lean Six Sigma approach; A case study from Northwest Ohio, USA. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 1(2), p.119-133, 2010.

ROTHER, M., HARRIS, R. **Creating continuous flow**. Brookline, The Lean Enterprise Institute. 2001.

SALGADO, E.G.; MELLO, C. H. P.; SILVA, C. E. S.; OLIVEIRA, E. S.; ALMEIDA, D. A. Análise da aplicação do mapeamento do fluxo de valor na identificação de desperdícios do processo de desenvolvimento de produtos. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 16, n. 3, p. 344-356, jul./ set, 2009.

SANTOS, D. Application of Theory of Constraints concepts and Lean tools as an innovative approach to the Timor-Leste public procurement process. 2012. XXXf. Dissertação (Mestrado em Logística e Gestão da Cadeia de Suprimentos) - Massey University, Manawatu, Nova Zelândia, 2012.

SANTOS, A. B.; MARTINS, M. F. Modelo de referência para estruturar o Seis Sigma nas organizações. **Gestão da Produção [online]**, v. 15, n.1, p. 43-56, 2008.

SCHWAIN, K. D. Prioritization and integration of lean initiatives with theory of constraints. 2004. Dissertação (Mestrado Engenharia mecânica e Administração de negócios) - Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts, USA, 2004.

SELLITTO, M. A. Processos de pensamento da TOC como alternativa sistêmica de análise organizacional: uma aplicação em saúde pública. **Revista Gestão e Produção**, v.12, n.1, 2005.

SEQUEIRA, F. P. **O que é APS – Advanced Planning and Scheduling Systems?**. 2000. Disponível em: <<http://www.ppi-multitask.com.br/blog/o-que-e-aps-advanced-planning-and-scheduling-systems>>. Acesso em: abr. 2014.

SHERRIS, P. **MES Evolution: Ten Years Later**. In: North America Conference, 2006. Disponível em: <<https://services.mesa.org/ResourceLibrary/ShowResource/f07b549b-b4ed-403d-98f9-1f95b06d5845>>. Acesso em: abr. 2014.

SHINGO, S. **A Revolution in Manufacturing: The SMED System**. Productivity Press. Cambridge, MA, 1985.

\_\_\_\_\_. **O Sistema de Troca Rápida de Ferramentas**. Porto Alegre: Bookman Editora, 2000.

SINGH, B. J.; KHANDUJA, D. SMED: for quick changeovers in foundry SMEs. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 59(1), p. 98-116, 2010.

SIX SIGMA BRASIL. **A História Do Six Sigma**. Disponível em: <[http://sixsigmabrasil.com.br/pag\\_metodologia.html](http://sixsigmabrasil.com.br/pag_metodologia.html)>. Acesso em: jan. 2014.

SNEE, R. D. Lean Six Sigma – getting better all the time. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 1, p. 9 - 29, 2010.

SOUZA, F. B. ; RENTES, A. F.; AGOSTINHO, O. L. A interdependência entre sistemas de controle de produção e critérios de alocação de capacidades. **Gestão & Produção**, v. 9, n. 2, p. 215-234, 2002.

SPROULL, B. **The Ultimate Improvement Cycle: Maximizing Profits Through the Integration of Lean, Six Sigma, and the Theory of Constraints**. CRC Press, 2009.

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_ . CRC Press, 2012.

\_\_\_\_\_; NELSON, B. **Epiphanized: Integrating Theory of Constraints, Lean and Six Sigma**. New York: North River Press, 2012.

STONE, K. B. Four decades of lean: a systematic literature review. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 3, p. 112-132, 2012.

SUGAI, M.; MCINTOSH, R. I.; NOVASKI, O. Metodologia de Shigeo Shingo (SMED): análise crítica e estudo de caso Shingo's methodology (SMED): critical evaluation and case study. **Gestão & Produção**, v. 14(2), p. 323, 2007.

SUGIMORI, Y.; KUSUNOKI, K.; CHO, F.; UCHIKAWA, S. Toyota production system and *kanban* system materialization of just-in-time and respect-for-human system. **International Journal of Production Research**, p. 553-564, 1977.

TATSANA-IAM, W.; NGAOPRASERTWONG, J. A Comparison of Process Improvement between Lean and Lean-TQM Approach. In: Proceedings of Global Engineering, Science and Technology Conference, out. 2013.

THORLEIFSON, T. **Toward Better Pipeline Data Governance**. Pipeline Gas and Journal. White paper. 2011.

UGARTE, B. S.; ARTIBA, A; PELLERIN, R. Manufacturing execution system – a literature review. **Production Planning & Control**, v. 20, n. 6, p. 525-539, set. 2009.

UMBLE, M.; UMBLE, E.; MURAKAMI, S. Implementing theory of constraints in a traditional Japanese manufacturing environment: the case study of Hitachi Tool Engineering. **International Journal of Production Research**, v. 44(10), p. 1863-1880, 2006.

UTIYAMA, M. H. R.; GODINHO FILHO, M. A literatura a respeito da comparação entre a teoria das restrições e a manufatura enxuta: revisão, classificação e análise. **Gestão e Produção**, São Carlos, v. 20, n. 3, p. 615-638, 2013.

WAN, H. DA; CHEN, F.F. A Web-based *Kanban* system for job dispatching, tracking, and performance monitoring. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 38(9-10), p. 995-1005, set. 2008.

\_\_\_\_\_. Decision support for lean practitioners: A web-based adaptive assessment approach. **Computers in Industry**, v. 60(4), p. 277-283, 2009.

WANG, J.; CHANG, Q.; XIAO, G.; WANG, N.; LI, S. Data driven production modeling and simulation of complex automobile general assembly plant. **Computers in Industry**, v.62(7), p. 765-775, 2011.

WANG, M. L.; QU, T.; ZHONG, R. Y. DAI, Q. Y.; ZHANG, X. W.; HE, J. B. A radio frequency identification-enabled real-time manufacturing execution system for one-of-a-kind production manufacturing: a case study in mould industry. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 25, p. 20-34, 2011.

WHITE, T. Lean Compliance: Improving Customer Service and Operation Performance in a Regulated Environment. **Pharmaceutical Technology Europe**, v. 13(4), p.44, abr. 2001.

WOMACK, J. P. The psychology of lean production. **Applied Psychology: An International Review**, v. 45, n. 2, p. 119-22, 1996.

WOMACK, J. P.; JONES, D.T. From lean production to the lean enterprise. **Harvard Business Review**, v. 72, n. 2, p. 93-103, 1994.

\_\_\_\_\_. **Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in your Corporation**, The Free Press, New York, NY, 1996a.

WOMACK, J. P.; JONES, D.T.; ROOS, D. **A Máquina que Mudou o Mundo**. 7 ed. Rio de Janeiro: Campus Ltda, 2004.

WU, S.; BLOS, M. F.; WEE, H. M. Can the Toyota way overcome the recent Toyota setback? - a study based on the theory of constraints. **Journal of Advanced Manufacturing Systems**, p. 09, 145, 2010.

ZYLSTRA, K. **APS, Lean, TOC, and Flow – Show Me The Way!**. 2005. Disponível em: <http://www.profit-chain.com/images/WP%20Lean%20APS%20which%20way.pdf>. Acesso em: mai. 2014.