

MARCUS VINICIUS PUERTA

**A UTILIZAÇÃO DOS CONCEITOS DE MANUFATURA ENXUTA E DA TEORIA
DAS RESTRIÇÕES NO ABASTECIMENTO DE UMA LINHA DE MONTAGEM**

MARCUS VINICIUS PUERTA

**A UTILIZAÇÃO DOS CONCEITOS DE MANUFATURA ENXUTA E DA TEORIA
DAS RESTRIÇÕES NO ABASTECIMENTO DE UMA LINHA DE MONTAGEM**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, na área de Gestão e Otimização.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Marcela A. G. Machado Freitas
Co-orientador: Prof. Dr. Bruno Chaves Franco

Guaratinguetá
2016

P977u	<p data-bbox="347 1323 1321 1541">Puerta, Marcus Vinicius A Utilização dos conceitos de manufatura enxuta e da teoria das restrições no abastecimento de uma linha de montagem / Marcus Vinicius Puerta – Guaratinguetá, 2016. 81 f : il. Bibliografia: f. 75-79</p> <p data-bbox="347 1581 1321 1727">Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2016. Orientador: Dra Marcela Aparecida Guerreiro Machado Freitas Coorientador: Prof. Dr Bruno Chaves Franco</p> <p data-bbox="408 1800 1321 1877">1. Produção enxuta. 2. Métodos de linha de montagem. 3. Teoria das restrições (Administração) I. Título</p> <p data-bbox="1099 1910 1321 1942">CDU 658.5(043)</p>
-------	--

MARCUS VINICIUS PUERTA

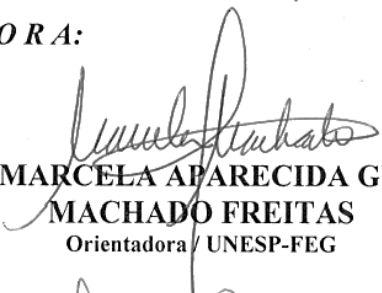
ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
“MESTRE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO”

PROGRAMA: ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
CURSO: MESTRADO PROFISSIONAL

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO


Prof. Dr. Jorge Muniz Junior
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr.ª MARCELA APARECIDA GUERREIRO
MACHADO FREITAS
Orientadora / UNESP-FEG


Prof. Dr.ª ANDREIA MARIA PEDRO SALGADO
UNESP/FEG


Prof. Dr. RICARDO BATISTA PENTEADO
FARO-Faculdade de Roseira

DADOS CURRICULARES

MARCUS VINICIUS PUERTA

NASCIMENTO	19.11.1974 – São Carlos / SP
FILIAÇÃO	Airton Mesa Puerta Ana Maria Trofino Puerta
1992/1999	Curso de Graduação em Engenharia Mecânica Universidade Federal de Itajubá
2002/2003	Curso de Pós-Graduação Lato Sensu Especialização em Qualidade e Produtividade, Universidade Federal de Itajubá
2014/2016	Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, nível de Mestrado, Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista

à minha esposa, Thatiana, e à minha filha, Giovanna

AGRADECIMENTOS

A minha esposa *Thatiana* pela paciência e entendimento dos esforços e ausências necessárias para a conclusão desse trabalho,

à minha filha *Giovanna*, por ser meu maior exemplo de superação e força de vontade, me ensinando todo dia que não existem limites quando temos objetivos,

aos meus pais *Airton e Ana Maria*, meus maiores exemplos de dedicação, por mostrarem a importância dos valores e da educação para a formação de uma pessoa e também pelo incentivo incessante aos estudos,

aos meus amigos *Márcio Garcia, Mário Augusto Esteves, Jairo Modesto e Lúcio Flore*, pela parceria, amizade e pelas horas de estudo em conjunto que proporcionaram momentos ímpares e únicos,

ao *Prof. Dr. Bruno Chaves Franco*, pelo incentivo, orientação, contribuição, paciência e ajuda necessárias para elaboração desse trabalho,

ao *Prof. Dr. Jorge Muniz Jr*, pelo apoio e incentivo nas horas mais complicadas e pela contribuição à elaboração do trabalho,

aos Professores *Dr^a. Marcela A. G. Machado Freitas, Dr^a. Andréia Maria Pedro Salgado e Dr. Ricardo Batista Penteado*, que participaram do Exame de Qualificação e Defesa, e que contribuíram com a qualidade e desenvolvimento desse trabalho,

aos amigos e companheiros da linha de Montagem de Chassis Soldados pela paciência, ajuda e por acreditarem no trabalho, que só foi possível devido a vossa parceria,

à *Maxion Structural Components*, por confiar no meu trabalho e me apoiar nessa conquista,

a todos aqueles que de alguma forma contribuíram de maneira direta ou indireta para a realização deste trabalho.

“Não é possível ensinar nada a um homem; você apenas pode ajudá-lo a descobrir esse conhecimento nele próprio.”

Galileu Galilei

RESUMO

O grande número de competidores globais existentes no mercado tem levado as indústrias da cadeia automotiva a buscarem incessantemente melhorias na gestão operacional, e nesse sentido esse trabalho apresenta uma proposta de integração das técnicas e abordagens da Manufatura Enxuta e da Teoria das Restrições, através de uma aplicação prática, visando a melhoria da sistemática de abastecimento de componentes para utilização em células de solda pertencentes a uma linha de montagem de chassis. Em uma primeira etapa foram apresentados os conceitos e as possibilidades de integração de ambas as teorias e, a partir de um diagnóstico inicial do sistema de abastecimento, foram propostas alterações, de maneira evolutiva, em que melhorias baseadas na Manufatura Enxuta eram implementadas a cada rodada de experimento, culminando com a implementação de melhorias baseadas na Teoria das Restrições, integrando ambos os conceitos. O resultado final obtido corrobora a eficiência da integração das duas abordagens para a melhoria de processos, as quais contribuíram para uma diminuição dos tempos de ciclo de abastecimento na ordem de 89% para a célula alvo estudada, sendo superior ao resultado obtido utilizando-se apenas uma das técnicas, sem que houvesse necessidade de investimentos e/ou despesas significativas.

PALAVRAS-CHAVE: Manufatura Enxuta. Teoria das Restrições. Melhoria Continua. Abastecimento. Manuseio de Materiais. Linha de Montagem.

ABSTRACT

The large number of global players in the market has led the automotive industry chain to incessantly seek improvements in operations management to increase their results and, based on this fact, this paper presents a proposal for integrating the techniques and approaches of Lean Manufacturing and Theory of Constraints through an action research application, aiming at improving the material supply system of welding cells from a chassis frame assembly line. In the first stage were presented the concepts and possibilities of integration of both theories and, from an initial diagnosis of the supply system, changes were proposed in an evolutionary way, in which improvements based on Lean Manufacturing were implemented on each experiment round, culminating in the implementation of improvements based on the Theory of Constraints, integrating both concepts. The final result confirms the efficiency of the integration of these two approaches as a way to improve processes, which contributed to an 89% decrease of the supply cycle times of the studied target cell. This result is better than the result obtained using only one of the techniques, without the need for investments and / or significant expenses.

KEYWORDS: Lean Manufacturing. Theory of Constraints. Continuous Improvement. Supply System. Material Handling. Assembly Line.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1a – Publicações Manufatura Enxuta.....	17
Figura 1b – Citações Manufatura Enxuta.....	17
Figura 2a – Publicações Teoria das Restrições	17
Figura 2b – Citações Teoria das Restrições.....	17
Figura 3a – Publicações ME + TOC.....	18
Figura 3b – Citações ME + TOC.....	18
Figura 4 – Planejamento da Pesquisa-Ação	20
Figura 5 – Os Cinco Passos de Melhoria Contínua da TOC	29
Figura 6 – Representação simples do Método Tambor-Pulmão-Corda (TPC)	30
Figura 7 – Representação dos tipos de pulmão de tempo	31
Figura 8 – Os Cinco Passos da TOC com inserção dos pontos de tomada de decisão	34
Figura 9 – Linha de Montagem de Chassis Soldados	46
Figura 10 – Linha de Montagem Principal.....	47
Figura 11 – Células de Solda de Subconjuntos	48
Figura 12 – Células de Solda à Projeção	48
Figura 13 – Estoque.....	49
Figura 14 – Estoques de componentes IE e IP	50
Figura 15 – Demonstração do processo de abastecimento dos itens IE	51
Figura 16 – Demonstração do processo de abastecimento dos itens IP	52
Figura 17 – Localização da Célula N°10	56
Figura 18 – Representação da célula N°10.....	57
Figura 19 – Fluxos de abastecimento atuais.....	59
Figura 20 – Fluxo de abastecimento do Ciclo ME.....	62
Figura 21 – Fluxo de abastecimento do Ciclo ME Sem Espera	64
Figura 22 – Estoque de componentes IL	66
Figura 23 – Fluxo de abastecimento do Ciclo ME + TOC	66
Figura 24a – Célula alvo antes dos trabalhos	69
Figura 24b – Célula alvo após os trabalhos	69

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – As Ferramentas da Manufatura Enxuta	24
Quadro 2 – Trabalhos que mostram que alguma abordagem/ferramenta se sobressai.....	38
Quadro 3 – Trabalhos que mostram que as abordagens/ferramentas são complementares.....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resumo das Ocorrências de Desperdícios por Operações.....	53
Tabela 2 – Resultados do teste do sistema de abastecimento atual	60
Tabela 3 – Resultados do teste do sistema de abastecimento atual padronizado	61
Tabela 4 – Resultados do teste do sistema de abastecimento baseado na ME	63
Tabela 5 – Resultados do teste do sistema de abastecimento baseado na ME sem espera	64
Tabela 6 – Resultados do teste do sistema de abastecimento baseado na ME e TOC	67
Tabela 7 – Resumo comparativo de todos os ciclos testados	68

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BM	: <i>Buffer Management</i> (Gerenciamento de Pulmões)
CIM	: <i>Computer Integrated Manufacturing</i>
CONWIP	: <i>Constant Work In Process</i>
DBR	: <i>Drum-Buffer-Rope</i>
FIFO	: <i>First In, First Out</i> (Primeiro a Entrar, Primeiro a Sair)
JIT	: <i>Just In Time</i>
LP	: <i>Lean Production</i>
ME	: Manufatura Enxuta
MIT	: Massachusetts Institute of Technology
MRP	: <i>Material Requirement Planning</i> (Planejamento das Necessidades de Materiais)
MRP II	: <i>Manufacturing Resource Planning</i> (Planejamento dos Recursos de Manufatura)
OPT	: <i>Optimized Production Technology</i>
RRC	: Recurso com Restrição de Capacidade
SCM	: <i>Supply Chain Management</i> (Gestão da Cadeia de Suprimentos)
SMED	: <i>Single Minute Exchange of Die</i> (Troca Rápida de Ferramentas)
STP	: Sistema Toyota de Produção
SUV	: <i>Sport Utility Vehicle</i>
TOC	: <i>Theory of Constraints</i> (Teoria das Restrições)
TOCICO	: <i>Theory of Constraints International Certification Organization</i>
TPC	: Tambor-Pulmão-Corda
TPM	: <i>Total Productive Maintenance</i> (Manutenção Produtiva Total)
TQM	: <i>Total Quality Management</i> (Gestão da Qualidade Total)
VSM	: <i>Value Stream Mapping</i>
WIP	: <i>Work In Process</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	14
1.2	OBJETIVOS	16
1.3	JUSTIFICATIVAS E DELIMITAÇÕES DA PESQUISA	16
1.4	MÉTODO DE PESQUISA.....	19
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO	20
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1	A MANUFATURA ENXUTA.....	21
2.2	A TEORIA DAS RESTRIÇÕES	28
2.2.1	A Evolução da Teoria das Restrições	33
2.3	INTEGRAÇÃO DA MANUFATURA ENXUTA E TEORIA DAS RESTRIÇÕES ..	37
3	APLICAÇÃO PRÁTICA	46
3.1	APRESENTAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO	46
3.2	O SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE COMPONENTES	49
3.2.1	Diagnóstico da Situação Atual	53
3.3	PROPOSTA DE SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE COMPONENTES	60
3.3.1	Sistema de abastecimento atual com quantidade de peças padrão	61
3.3.2	Sistema de abastecimento baseado na Manufatura Enxuta	62
3.3.3	Sistema de abastecimento baseado na integração da Manufatura Enxuta e Teoria das Restrições	65
3.4	ANÁLISE DOS RESULTADOS	67
4	CONCLUSÕES	71
4.1	VERIFICAÇÃO DOS OBJETIVOS	71
4.2	CONSIDERAÇÕES FINAIS	72
4.3	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	73
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
	APÊNDICE A – Formulário de coleta de dados para diagnóstico	80
	APÊNDICE B – Formulário de observações e sugestões dos colaboradores	80

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Em um mundo onde a comunicação e a tecnologia de transporte reduziram consideravelmente as barreiras comerciais e produtivas, é importante o desenvolvimento de pensamento global para manter as operações de negócios eficientes, competitivas, e viáveis no longo prazo (KEDIA; MUKHERJI, 1999).

A busca de eficiência nas operações tem causado impacto nas estratégias de fabricação para enfrentar a competitividade do mercado (MADEJSK, 2007) e para tanto são usadas diversas técnicas e/ou enfoques como a Teoria das Restrições (GOLDRATT; COX, 1984; GOLDRATT; FOX, 1986; SPENCER; COX, 1995; DETTMER, 1997; RAHMAN, 1998) e Manufatura Enxuta (OHNO, 1988; WOMACK; JONES; ROOS, 1990; WOMACK; JONES, 1996).

A Teoria das Restrições (*Theory of Constraints* – TOC) parte da premissa que a meta de uma organização é gerar lucro, tanto no presente quanto no futuro (RAHMAN, 1998). Restrições são geralmente consideradas como algo negativo, algo a ser eliminado, porém a diferença da abordagem da teoria das restrições em relação a outras abordagens tradicionais de gestão é a de que ela considera uma restrição como oportunidade de melhoria para o negócio (BLACKSTONE, 2001).

O princípio básico da TOC é que dentro de cada sistema deve existir, pelo menos, uma restrição que limita a capacidade do mesmo em alcançar melhores níveis de desempenho. A restrição pode ser a falta de mercado, uma política imposta internamente ou externamente, ou um recurso interno para a empresa (BLACKSTONE, 2001). A utilização máxima da restrição, por conseguinte, pode levar ao resultado máximo (WATSON; BLACKSTONE; GARDNER, 2007).

Já a implementação de estratégias baseadas em Manufatura Enxuta (*Lean Manufacturing* – ME) contribui para a excelência operacional por meio da eliminação de desperdícios e de atividades que não geram valor agregado ao processo (ÁLVAREZ et al., 2009). De acordo com Ohno (1988), os tipos mais comuns de desperdícios são: superprodução, produtos defeituosos, processos sub-otimizados, esperas desnecessárias, movimentação, transporte e excesso de estoque.

As práticas de manufatura enxuta resultam em melhores resultados operacionais, tais como estoques mais baixos, maior qualidade e tempos de produção mais curtos, que, por sua

vez, melhoram o desempenho financeiro (SHAH; WARD, 2003; HOFER; EROGLU; HOFER, 2012).

Desse modo, os processos de melhoria contínua são essenciais na busca pela excelência operacional e a integração dos conceitos de manufatura enxuta e de TOC vem se mostrando uma das mais promissoras combinações de metodologias voltadas para melhorias de longa duração, tanto em processos quanto nas organizações como um todo (DEMCHUK; BAIT SAR, 2013).

No entanto, de acordo com Domingo et al. (2007), apesar dos sistemas de manufatura enxuta serem projetados para demandas constantes com desperdícios mínimos, é necessário certo grau de flexibilidade para lidar com incertezas, incluindo *setups* rápidos, quantidades variáveis de *kanbans*, e estações de trabalho com *layout* flexíveis, os quais desempenham um papel importante no fluxo de materiais de uma linha de montagem.

Os sistemas de manuseio e movimentação de materiais são componentes básicos para operações de manufatura e referem-se a quaisquer atividades, equipamentos e processos relacionados a movimentação, estocagem e controle de materiais em um sistema produtivo que, quando bem aplicados, previnem que o fluxo de materiais tenha estoques finais e intermediários excessivos (HALIM et al., 2012).

Álvarez et al. (2009) concluíram que a efetividade desses sistemas é fortemente dependente de parâmetros como tipo de transporte utilizado, métodos de estocagem, rotas de entrega de materiais, frequências e quantidades transportadas. Porém, de acordo com Shah e Ward (2003), a implementação requer soluções personalizadas uma vez que os fluxos de materiais internos entre as estações de trabalho dependem das condições de produção e características próprias, que variam de empresa a empresa.

De acordo com Finnsgård et al. (2011), um problema, muitas vezes encontrado em ambientes industriais, é o espaço disponível para o arranjo de cada componente necessário na estação de trabalho.

A movimentação de materiais é definitivamente uma das áreas em que a implementação de manufatura enxuta pode ter efeito benéfico para o desempenho operacional e financeiro das empresas (GREEN; LEE; KOZMAN, 2010) e nesse contexto Allen, Robinson e Stewart (2001) evidenciam que sistemas de manuseio de materiais adequados ajudam a reduzir os custos operacionais de 15% a 30%.

Dentro deste contexto esta pesquisa busca um modelo de sistema de abastecimento de componentes para uma linha de montagem baseados em princípios e práticas da Manufatura Enxuta, em conjunto com a Teoria das Restrições.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo dessa pesquisa é propor um método de organização e gestão do sistema logístico de abastecimento de componentes em uma célula de solda, baseados nos conceitos e práticas da Manufatura Enxuta (ME) e da Teoria das Restrições (TOC).

Para consecução do objetivo geral, os seguintes objetivos específicos são propostos:

- 1- Analisar a integração dos conceitos e práticas da Manufatura Enxuta e da Teoria das Restrições na melhoria de sistemas logísticos de abastecimento de componentes em uma linha de montagem.
- 2- Avaliar o impacto da aplicação do método proposto tanto na movimentação de materiais, quanto no processo de abastecimento da célula de solda como um todo.

1.3 JUSTIFICATIVAS E DELIMITAÇÕES DA PESQUISA

A importância do tema remete a acirrada competitividade em que o setor automotivo está inserido, demandando das empresas melhores resultados operacionais, cada vez mais pressionadas pela forte concorrência global.

As demandas de mercado tendem a requerer produtos com alta confiabilidade, qualidade e baixo custo, produzidos no tempo correto. Dessa forma, a otimização do fluxo de materiais é um passo indispensável para atingimento desses objetivos (STARBEK; MENART, 2000).

Um dos problemas que ocorrem com frequência em linhas e/ou células de montagem é a falta de um sistema de movimentação de materiais devidamente estruturado que mantenha todo o processo trabalhando em fluxo contínuo e produzindo o necessário (HARRIS; HARRIS; WILSON, 2004). Com isso, a busca por conceitos e práticas de excelência de gestão vem aumentando e evoluindo e, nesse cenário, as abordagens da Manufatura Enxuta e da Teoria das Restrições vêm se destacando como boas alternativas na busca de melhores resultados.

A contribuição profissional deste trabalho está na avaliação e aplicação de métodos para diminuição de perdas produtivas e, conseqüentemente, aumento de eficiência operacional relacionada à logística interna de abastecimento de uma linha de montagem. Apesar desta pesquisa focar em um processo específico, as deficiências de movimentação de materiais são comuns a outros processos existentes na empresa.

Dessa forma pode-se ter uma abrangência do trabalho em outras linhas e/ou células de montagem, fazendo com que os resultados obtidos através da aplicação dos conceitos e métodos propostos possam ser replicados futuramente.

No que tange à contribuição acadêmica, ambas as abordagens são relevantes e possuem histórico anual crescente de publicações e citações, conforme mostrado na Figura 1a, Figura 1b, Figura 2a e Figura 2b. Vale ressaltar que nos últimos dez anos a quantidade de citações relacionadas à Manufatura Enxuta tiveram um aumento significativo de cerca de 1000%, conforme Figura 1b, enquanto que as citações relacionadas à Teoria das Restrições mostraram um aumento de cerca de 300%, conforme Figura 2b.

Figura 1a - Publicações Manufatura Enxuta



Fonte: Web of Science – Mar/16

Figura 1b - Citações Manufatura Enxuta



Fonte: Web of Science – Mar/16

Figura 2a - Publicações Teoria das Restrições



Fonte: Web of Science – Mar/16

Figura 2b - Citações Teoria das Restrições



Fonte: Web of Science – Mar/16

Porém, a utilização de ambas as teorias em conjunto é pouco explorada, onde o número de publicações anuais é pequeno se comparado com ambas as abordagens em separado, conforme mostrado na Figura 3a e na Figura 3b.

Figura 3a - Publicações ME + TOC



Fonte: Web of Science – Mar/16

Figura 3b - Citações ME + TOC



Fonte: Web of Science – Mar/16

Enquanto que a Manufatura Enxuta e a Teoria das Restrições chegaram a ter respectivamente cerca de 350 e 50 publicações anuais, conforme mostrado na Figura 1a e na Figura 2a, a utilização de ambas as teorias em conjunto alcançou apenas oito publicações em seu melhor resultado anual, conforme Figura 3a. Nesse sentido esse trabalho trará mais uma contribuição ao tema ao abordar ambas as teorias em conjunto.

Outro ponto relevante dessa pesquisa é o fato dela ser direcionada para uma aplicação prática do uso das duas abordagens, sendo que a grande maioria dos trabalhos anteriores existentes são relacionados a trabalhos Teórico-Conceituais, Modelagens/Simulações e Surveys, conforme evidenciado por Utiyama e Godinho Filho (2013).

Este trabalho está delimitado ao abastecimento interno de componentes para células de solda de subconjuntos existentes em uma linha de montagem, sendo que os demais abastecimentos que fazem parte do processo, incluindo a movimentação de produtos finais, não farão parte de seu escopo.

1.4 MÉTODO DE PESQUISA

Esta pesquisa tem natureza aplicada, caracterizando-se pelo interesse prático o qual seus resultados serão aplicados na solução de problemas reais. Ela se classifica como uma pesquisa exploratória, pois objetiva buscar familiaridade com o problema em questão.

Para a condução do trabalho será usado como base o método de pesquisa-ação, que segundo Mello e Turrioni (2012):

... é o tipo de pesquisa social com base empírica concebida e realizada em associação com uma ação ou com a resolução de um problema coletivo e no qual os pesquisadores e participantes representativos da situação ou do problema estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo (Mello e Turrioni, 2012, p.149).

Em outras palavras, a pesquisa-ação se caracteriza por seu caráter participativo, possibilitando a integração dos participantes da pesquisa com os investigados, não se restringindo a descrever situações, mas se encarregando de criar acontecimentos que propiciem mudanças no sistema (THIOLLENT, 2011). Tanto Coughlan e Coghlan (2002), quanto Thiollent (2011), ressaltam que a pesquisa-ação deve buscar o equilíbrio de dois objetivos: resolver um problema e contribuir para a ciência.

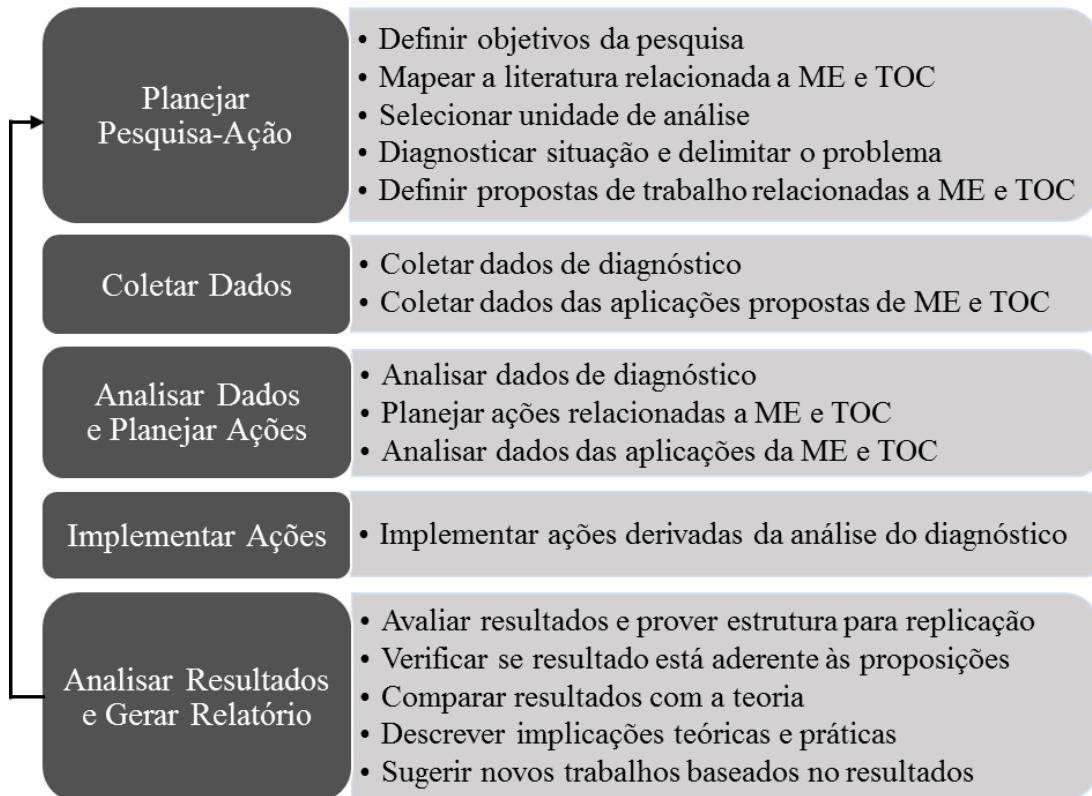
A utilização da pesquisa-ação justifica-se pelo fato dos objetivos do pesquisador orientarem-se pelo interesse de formular diagnósticos confiáveis e planos comprometidos com as melhorias vislumbradas, de modo a gerar as mudanças desejadas na prática (LIMA, 2005).

De acordo com Mello et al. (2012), a pesquisa-ação vem se destacando como uma estratégia de pesquisa adotada em Engenharia de Produção, ressaltando que sua utilização deveria ser melhor explorada para contribuir para sua aceitação como um processo científico.

Cada ciclo do processo da pesquisa-ação, como proposto por Mello et al. (2012) com base nos trabalhos de Westbrook (1995), Coughlan e Coghlan (2002) e Thiollent (2011), possui cinco fases: planejar; coletar dados; analisar dados e planejar ações; implementar ações; avaliar resultados e gerar relatório.

As etapas do método de pesquisa-ação elaborado para a condução deste trabalho específico, bem como a descrição das atividades a serem executadas, estão apresentadas na Figura 4, elaborada pelo autor e adaptada de Mello et al. (2012).

Figura 4 - Planejamento da Pesquisa-Ação



Fonte: Adaptado de Mello et al. (2012)

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O conteúdo dessa dissertação está dividido em quatro capítulos, sendo que o primeiro consiste da introdução, onde são apresentadas as considerações iniciais, os objetivos, as justificativas da pesquisa, a metodologia de pesquisa utilizada e a estrutura do trabalho.

No segundo Capítulo são apresentadas as revisões bibliográficas sobre Manufatura Enxuta, Teoria das Restrições, e as possibilidades de integração do uso das duas técnicas para otimização de processos e redução de custos.

O terceiro Capítulo é dedicado a aplicação prática da pesquisa, aonde são apresentados o objeto de estudo, o diagnóstico da situação atual, o modelo de trabalho proposto e as análises dos resultados obtidos dessa proposta.

E, finalmente, no quarto Capítulo são apresentadas as considerações finais e conclusões desta pesquisa, bem como sugestões para o desenvolvimento de novos trabalhos sobre o tema estudado.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A MANUFATURA ENXUTA

A Manufatura Enxuta (do inglês *Lean Manufacturing*), também conhecida como Produção Enxuta, é um termo criado no final da década de 80 por pesquisadores ligados ao *Massachusetts Institute of Technology* – MIT, através de um programa de pesquisas denominado IMVP – *International Motor Vehicle Program*, que tinha como objetivo o estudo das melhores técnicas de produção praticadas mundialmente e a definição de um sistema de produção eficiente, flexível, ágil e inovador, superior à produção em massa, até então o modelo predominante no ocidente.

Esse estudo deu origem ao livro “A máquina que mudou o mundo” (*The machine that changed the world*) em 1990, onde os autores James P. Womack, Daniel T. Jones e Daniel Roos deram o nome de produção enxuta ao que Taiichi Ohno e Shigeo Shingo chamaram de Sistema Toyota de Produção (STP), desenvolvido no Japão pela *Toyota Motor Company*, ao final da década de quarenta, objetivando o combate aos desperdícios, definidos como todas as atividades que consumiam recursos e que não agregavam valor ao produto.

Em suma, pode-se entender que a Manufatura Enxuta é um, entre vários nomes adotados para definir o conjunto de técnicas, princípios e recomendações oriundas dos conceitos e pilares do STP, que as empresas seguem com o objetivo de se tornarem mais ágeis e enxutas, potencializando seus resultados perante os desafios de mercado, conforme definido por Womack, Jones e Roos (1990).

Basicamente, o significado de ser enxuto remete a obter as coisas certas, no lugar certo, na hora certa, na quantidade certa, minimizando o desperdício, sendo flexível e aberto a mudanças. Assim, um processo deve fazer apenas o que o próximo processo necessita, no momento que ele necessitar (ROTHER; SHOOK, 2003).

Outra maneira de mostrar esse significado foi feita por Womack e Jones (1996), onde os mesmos afirmaram que ser enxuto é fazer muito mais com muito menos - menos esforço humano, menos equipamento, menos tempo e menos espaço - aproximando-se dos clientes fornecendo exatamente o que eles querem.

Os princípios que servem de guia para a implementação de um sistema de Manufatura Enxuta foram apresentados por Womack, Jones e Roos (1990):

1. Definir detalhadamente o significado de valor de um produto por meio da perspectiva do cliente final, em termos das suas especificações como preço, prazo de entrega, entre outros.
2. Identificar o fluxo de valor do produto, incluindo os dados de cada operação de transformação necessária, bem como o fluxo de informações inerentes ao mesmo.
3. Gerar um fluxo de valor contínuo com base na cadeia de valor obtida, de modo que isso ocorra sem interrupções, com objetivo de reduzir e, se possível, eliminar as atividades que não agreguem valor na cadeia identificada.
4. Configurar o sistema produtivo de forma que o acionamento do mesmo ocorra a partir do pedido do cliente, seja ele interno ou externo, de forma que o fluxo da programação seja puxado, não empurrado.
5. Buscar incessantemente a melhoria do fluxo de valor por meio de um processo de melhoria contínua da redução de perdas.

Baseados nesses princípios observa-se que o processo de implantação da Manufatura Enxuta está fundamentalmente voltado para a identificação e eliminação de desperdícios, que adicionam apenas custo e tempo aos produtos e processos. Tudo o que não agrega valor ao produto, é desperdício e os mesmos se escondem por toda parte na produção e, para evitá-los, deve-se compreender por completo o que são desperdícios e as suas causas (LIKER, 2005).

Os desperdícios são os sintomas e não as causas dos problemas (OHNO, 1988), e basicamente existem sete tipos deles (OHNO, 1988; WOMACK; JONES, 1996; HINES; TAYLOR, 2000):

1. Superprodução – produzir mais do que o necessário e/ou antecipadamente, gerando estoques. É o desperdício mais difícil de ser eliminado uma vez pode mascarar tanto outras ineficiências dos processos, quanto problemas operacionais e administrativos.
2. Estoque – consequência da superprodução, está relacionado a custos de obsolescência e manutenção de estoques, desperdício de áreas e armazenamento excessivo, incluindo estoques intermediários de produtos em processo.
3. Processos Desnecessários – desperdícios dos próprios processos devido a introdução de operações desnecessárias ou extras, bem como a existência de algumas operações advindas de um projeto, componentes ou manutenção que poderiam ser melhorados.

4. Defeitos ou Retrabalhos – perdas relacionadas a materiais defeituosos e desperdícios com retrabalhos devido a materiais que não atendem as especificações de qualidade exigidas para os mesmos.
5. Transporte – movimentações desnecessárias de produtos ou peças que não agregam valor ao produto e constituem desperdícios de tempo e recursos.
6. Movimento – perdas relacionadas a movimentos desnecessários e repetitivos dos operadores, que não agregam valor ao produto. Podem estar relacionados a própria organização do local de trabalho.
7. Espera – relacionada à falta de sincronismo e/ou balanceamento das operações, causando ociosidade, acúmulo de material e falta de atividade.

Além dos sete desperdícios básicos descritos, pode-se considerar a existência do oitavo desperdício, defendido tanto por Liker (2005), quanto por Muniz (2007):

8. Conhecimento – perdas relacionadas a não utilização do conhecimento e habilidades dos operadores para eliminação dos demais desperdícios, e implementação de melhorias e inovações. Também pode ser descrito como as perdas relacionadas a falta de compartilhamento do conhecimento adquirido.

Uma vez conhecidos os desperdícios, é imprescindível o entendimento de como a Manufatura Enxuta lida com os mesmos, de forma a buscar a excelência operacional. Nesse contexto, várias técnicas e ferramentas são usadas, como por exemplo, o *Just in Time* (JIT), *Kanban*, *Jidoka*, *Heijunka*, *5S*, *Poka-Yoke*, *Tempo Takt*, *Total Preventive Maintenance* (TPM), *Andon*, Trabalho Padronizado, entre outros (OHNO, 1988; SHINOHARA, 1988; SHINGO, 1989; WOMACK; JONES, 1996; HINES; TAYLOR, 2000; SLACK et al.,2002; LIKER, 2005).

A literatura disponível está repleta de autores que adaptaram e usaram várias dessas ferramentas e técnicas na descrição de seus trabalhos e que, se fossem descritas nos seus detalhes e nuances, tornariam essa revisão de literatura extensa. Dessa forma o Quadro 1 apresenta uma síntese das várias ferramentas e técnicas disponíveis, com uma breve explicação de cada uma delas, com suas respectivas referências, conforme proposto por Okimura (2013).

Quadro 1 - As Ferramentas da Manufatura Enxuta

(continua)

Ferramentas	Descrição	Referência sobre conceituação e aplicação
Kaizen	É uma palavra japonesa que significa a melhoria contínua de um fluxo completo de valor (sistema) ou de um processo individual, por meio da busca da inovação e evolução, com objetivo de se agregar mais valor para o cliente e eliminar as atividades que não são consideradas desperdícios.	Imai (1992), Rother e Shook (1999), Brunet e New (2003), Marchwinski e Shook (2007), Murata e Katayama (2010), Garcia, Rivera e Iniesta (2013)
Just In Time (JIT)	O JIT é um sistema de produção que produz e entrega produtos na quantidade e no tempo necessário. Ele é um dos pilares do Sistema de Produção Toyota. O JIT é auxiliado pelo Heijunka e é formado por três elementos operacionais: o sistema puxado (Kanban), o tempo Takt e o Fluxo Contínuo.	Ghinato (1995), Seeluangsawat e Bohez (2004), Liker (2005), Marchwinski e Shook (2007), Al-Tahat, AlRefaie, Al-Dwairi (2012), Pisuchpen (2012), Tayal (2012)
Kanban	O kanban é um cartão que autoriza e dá instruções para a produção ou para a retirada de itens em um sistema puxado. É um método de controle de produção do sistema JIT, que autoriza a produzir somente o necessário, e quando o cliente solicita (puxa), desta forma elimina-se a produção em excesso e o ressuprimento do material ocorre de acordo com a necessidade do cliente.	Shingo (1996), Huang e Kusiak (1996), Smalley (2004), Marchwinski e Shook (2007), Ohno (1997), Liker (2005), Moura (1989), Ali, Santini e Rahman (2012), Gallo, Revetria e Romano (2012), Matzka, Di Mascolo e Furmans (2012)
5S	O 5S é um programa que possui cinco elementos que descrevem práticas para melhorar o ambiente de trabalho, sendo eles: 1. Seiri (separação e descarte); 2. Seiton, (organização); 3. Seiso (limpeza); 4. Seiketsu (padronização); 5. Shitsuke (disciplina).	Liker (2005) e Marchwinski e Shook (2007), Chen e Meng (2008), Acharya (2011), Malboeuf (2011), Deros, Jun e Rahman (2012)
Value Stream Mapping (VSM)	Value Stream Mapping (VSM), na tradução em português Mapeamento do Fluxo de Valor, é uma ferramenta simples que auxilia a enxergar e compreender todas as etapas envolvidas nos fluxos de material e informação, necessárias para atender aos clientes, desde o pedido até a entrega. Através desse mapeamento é possível identificar as perdas potenciais do processo (atividades que não agregam valor) e direcionar ações de melhoria para eliminá-las e aumentar as atividades que agregam valor.	Rother e Shook (1999), Marchwinski e Shook (2007), Esfandyari et al. (2011), Singh, Garg e Sharma (2011), Bhamu, Kumar e Sangwan (2012), Jiménez et al. (2012)
Fluxo Contínuo	Produzir e movimentar um item por vez (One Piece Flow) ao longo de uma série de etapas de processamento, continuamente e sem espera. Assim, em cada etapa se realiza apenas o que é exigido pela etapa seguinte. Com esta técnica é reduzida a quantidade de material em processamento (WIP – Work In Process) e a quantidade de materiais não conforme, uma vez que os defeitos são detectados antes de serem transferidos para a etapa do processo seguinte. Com o fluxo contínuo evita-se produzir grandes lotes com risco de serem defeituosos.	Rother e Harris (2002), Harris, Harris e Wilson (2004), Smalley (2004), Marchwinski e Shook (2007), Álvarez et al. (2009), Garza-Reyes et al. (2012), Tayal (2012)

Quadro 1 - As Ferramentas da Manufatura Enxuta

(continuação)

Ferramentas	Descrição	Referência sobre conceituação e aplicação
Heijunka	Heijunka é uma ferramenta de nivelamento do mix e da quantidade a ser produzida durante um dado período de tempo. Isso permite que a produção atenda a demanda do cliente, evitando o excesso de estoque, reduzindo custos, mão de obra e lead time de produção em todo o fluxo de valor.	Horn e Cook (1997), Coleman e Vaghefi (1994), Rother e Shook (1999), Liker (2005), Marchwinski e Shook (2007), Smalley (2004), Matzka, Di Mascolo e Furmans (2012)
Total Productive Maintenance (TPM)	Total Productive Maintenance (TPM) na tradução em português Manutenção Produtiva Total é um método que utiliza uma série de técnicas para garantir que todas as máquinas do processo de produção estejam sempre aptas a realizar suas tarefas. Esta técnica tem por objetivo maximizar a eficiência dos equipamentos através de manutenções autônomas, preditivas e preventivas. Este conceito está fundamentado na melhoria do uso de técnicas de manutenção aumentando a confiabilidade dos equipamentos e reduzindo os tempos de paradas por quebras ou mau funcionamento.	Nakajima (1989), Shirose (1996), Ahuja e Khamba (2008a), Ahuja e Khamba (2008b), Ohunakin e Leramo (2012), Singh e Ahuja (2012)
Troca Rápida de Ferramenta	Single Minute Exchange of Die (SMED) é uma técnica para redução do tempo de preparação (setup) de uma máquina. O setup é considerado o tempo gasto para preparar um processo desde a última peça boa do produto anterior até a primeira peça boa do produto seguinte. Esta técnica consiste buscar uma redução dos tempos de troca para um único dígito, ou menos de 10 minutos, separando seus tempos em internos e externos, eliminando os tempos externos e reduzindo os internos.	Shingo (1996), McIntosh et al. (2000), Shingo (2000), Sugai, McIntosh e Novaski (2007), Peter (2010), Singh e Khanduja (2010), Ulutas (2011)
Tempo Takt	É o tempo disponível para a produção dividido pela demanda do cliente. O tempo takt é quem dita o ritmo de produção de uma linha; é a batida do coração de um sistema LP. O objetivo do tempo takt é alinhar a produção à demanda, com precisão, fornecendo um ritmo ao sistema de produção.	Rother e Shook (1999), Alvarez e Antunes Jr (2001), Liker (2005), Mahapatra e Mohanty (2007), Marchwinski e Shook (2007), Shewchuk (2008), Duanmu e Taaffe (2012)
Trabalho Padronizado	É a prática de estabelecer os procedimentos para o trabalho de cada um dos operadores em um processo de produção. Para definir este procedimento é necessário considerar os seguintes elementos da produção enxuta: o tempo takt; a sequência exata de trabalho de cada operador; e o estoque padrão.	Ohno (1997), Marchwinski, Liker (2005) e Shook (2007), Mariz et al. (2012)
Layout Celular	O layout celular é uma forma de arranjo para alinhar fisicamente os processos na sequência que produzirá o que for solicitado pelo cliente no menor período de tempo, eliminando departamentos e criando células de trabalho agrupadas por produtos e não por processo.	Liker (2005), Marchwinski e Shook (2007), Pattanaik e Sharma (2009), Saurin, Marodin, Ribeiro (2011), Bhasin (2012), Deif (2012)

Quadro 1 - As Ferramentas da Manufatura Enxuta

(conclusão)

Ferramentas	Descrição	Referência sobre conceituação e aplicação
Jidoka (Autonomação)	Jidoka ou é um dos pilares do Sistema Toyota de Produção. Ele é conhecido também como automação com um toque humano. Seu conceito consiste em capacitar as máquinas e os operadores a habilidade de detectar quando uma anomalia ocorreu e interromper imediatamente o trabalho, evitando assim a geração de não conformidades no processo. Deste modo a qualidade do produto torna-se robusta em cada etapa do processo, separando o homem das máquinas para um trabalho mais eficiente.	Ohno (1997), Liker (2005), Danovaro, Janes e Succi (2008), Barua et al. (2010)
Andon	O Andon é um painel que permite o gerenciamento visual, mostrando o estado das operações em uma área e sinaliza quando qualquer anomalia. O painel pode ser acionado por qualquer membro de uma linha de produção e, ao perceber este sinal, todos devem se envolver para solucionar o problema o mais rápido possível.	Liker e Lamb (2002), Li e Blumenfeld (2005). Tinham (2005), Marchwinski e Shook (2007), Acharya (2011)
Poka Yoke (à prova de erros)	É um sistema prova de defeitos, com inspeção 100% através de controle físico ou mecânico. Os dispositivos ajudam os operadores a evitar erros em seu trabalho, tais como escolha de peça errada, montagem incorreta de uma peça, fabricação invertida, esquecimento de um componente etc.	Ghinato (1995), Shingo (1986), Shingo (1996), Tommelein (2008), Miralles et al. (2011), Saurin, Ribeiro e Vidor (2012)
5 Por Quês	É uma técnica para identificação da causa raiz de um problema. Consiste em se perguntar "por quê?" repetidamente sempre que se encontrar um problema, identificando a relação da causa e efeito até chegar à causa raiz do problema.	Marchwinski e Shook (2007), Sobek e Smalley (2010)
A3	É um relatório em tamanho de um formato de papel A3, para identificação e análise de problemas, bem como plano de ação para sua tratativa. É uma ferramenta simples e de fácil utilização, fundamentada no ciclo PDCA (Plan, Do, Check and Action) não se limitando apenas à resolução de problemas da produção.	Sobek e Smalley (2010), Anderson, Morgan e Williams (2011), Gnanaguru et al. (2011), Ghosh (2012)
Contabilidade Lean	A contabilidade Lean tem como objetivo suportar a empresa como uma estratégia de negócio. Esta técnica é usada para migrar do modelo de contabilidade tradicional para um sistema que motiva a busca por práticas do pensamento enxuto. A contabilidade Lean visa fornecer informações adequadas para o controle e tomada de decisão e prover uma melhor compreensão do valor do cliente e os impactos financeiros das melhorias alcançadas.	Grasso (2006) Huntzinger (2007), Kennedy e Widener (2008), Merwe (2008), , Maskell, Baggaley e Grasso (2011), Ahakchi et al. (2012), Chiarini (2012)

Fonte: Adaptado de Okimura (2013)

Liker (2005) salienta que é importante a adaptação do sistema de Manufatura Enxuta a cada organização, pois dificilmente será possível utilizá-lo em sua plenitude. Uma empresa que deseja ser enxuta não deve simplesmente imitar as ferramentas usadas no STP, mas sim entender seus ensinamentos e adaptá-los da maneira mais correta, fazendo com que os colaboradores vivenciem e criem a cultura do pensamento enxuto.

De acordo com Taj e Berro (2006), muitas empresas desperdiçam de 70% a 90% de seus recursos disponíveis, e mesmo aquelas que praticam a manufatura enxuta podem chegar a perder até 30% desses recursos. Cada empresa tem de encontrar o seu próprio caminho para implementar a Manufatura Enxuta, pois não há nenhuma maneira universal que possa ser aplicada a todos os casos.

Domingo et al. (2007), através de seu trabalho de estudo de caso industrial, afirmaram que a utilização das técnicas de Manufatura Enxuta transformou uma antiga linha de fabricação, obtendo ganhos no tempo de ciclo e também na redução de desperdícios relacionados a estoques desnecessários, transporte excessivo e períodos ociosos, sem alterar a filosofia de produção ou layout da mesma. Ainda de acordo com os autores, a Manufatura Enxuta é uma ferramenta importante para melhoria de processos aplicável a qualquer tipo de indústria. No entanto, é preciso adaptar as ferramentas às suas características de fabricação.

Green, Lee e Kozman (2010) concluíram que a utilização das ferramentas e técnicas da Manufatura Enxuta proporcionam a eliminação de uma grande quantidade de desperdícios relacionados a sistemas de abastecimento e manuseio de materiais. Através de um estudo de caso desenvolvido pelos autores em questão, pode-se verificar que o manuseio de itens foi reduzido em cerca 67%, enquanto que o aumento de produtividade relacionado proporcionou um ganho de cerca de 14 horas semanais, que se convertem em aumento de produção.

Na mesma linha dos autores citados anteriormente, Singh et al. (2010) mostraram que a implementação das ferramentas da Manufatura Enxuta acarretaram em redução de inventário (*WIP*) em cerca de 89%, redução de estoque de produtos acabados em 17%, redução de prazos de entrega dos produtos em 83%, redução de tempo de processamento em 12%, redução de mão de obra necessária em 30%, e de aumento produtividade por operador em cerca de 42%.

De acordo com o exposto, pode-se observar o potencial do uso das técnicas de Manufatura Enxuta para implementação de melhorias.

2.2 A TEORIA DAS RESTRIÇÕES

A Teoria das Restrições (TOC) foi desenvolvida pelo físico Eliyahu M. Goldratt durante os anos oitenta, tendo como ponto inicial a sua obra intitulada “A Meta” (*The Goal*), de 1984.

Da mesma forma que a manufatura enxuta teve suas origens no STP, desenvolvido anos antes, a TOC também se originou de um trabalho anterior relacionado ao desenvolvimento de um software de programação da produção conhecido como OPT – *Optimized Production Technology*, desenvolvido no final da década de setenta pelo próprio Goldratt.

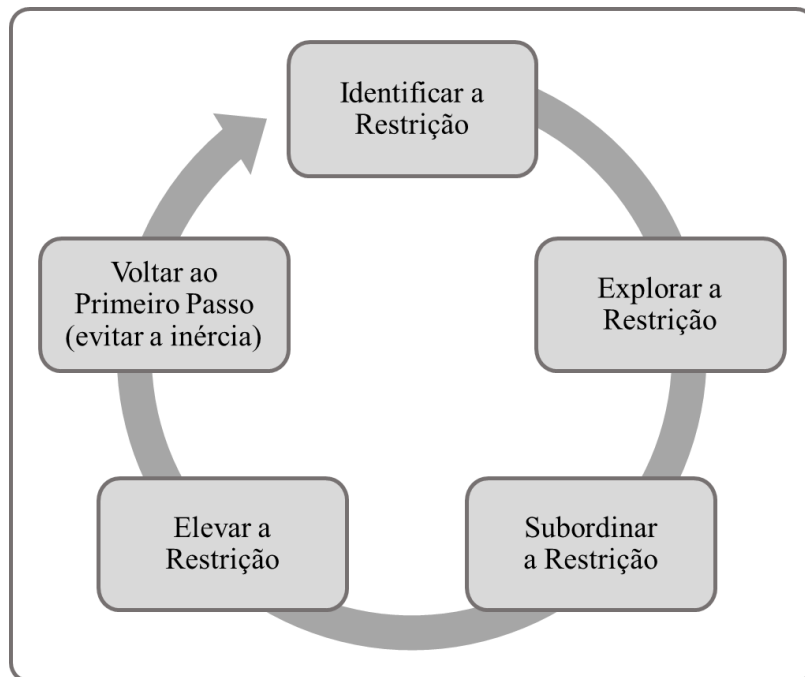
O princípio fundamental da TOC é que todo sistema possui, no mínimo, um componente definido como restrição, que limita o seu desempenho em relação às metas estabelecidas, caso contrário o mesmo se tornaria ilimitado (COX; SPENCER, 1997). De acordo com Dettmer (1997), a restrição pode ser qualquer elemento de um sistema, ou mesmo o próprio ambiente em que ele está inserido. Porém, na visão da TOC, a existência de uma restrição é interpretada como oportunidade de melhoria e não como uma penalidade, conforme Goldratt e Cox (1984).

Por se constituírem de um conjunto de variáveis dependentes, os sistemas são limitados, na maioria das vezes, por um pequeno número de restrições. Para que uma organização possa eliminar as restrições e maximizar os resultados em um processo de melhoria contínua, a TOC propõe cinco passos, exemplificados também pela Figura 5 (GOLDRATT; COX, 1984; GOLDRATT; FOX, 1986; RAHMAN, 1998):

1. Identificar a restrição do sistema: o desempenho do sistema é limitado pelo desempenho de seu elo mais fraco, ou seja, da sua restrição. Logo, o primeiro passo é identificar o elo mais fraco (a restrição), que pode ser tanto gerencial quanto física.
2. Explorar ao máximo a restrição do sistema: existem duas maneiras de explorar a restrição, sendo que a primeira é adicionar mais capacidade ou recursos, no caso de uma restrição gerencial, e a segunda é a utilização do recurso em sua capacidade máxima, no caso de restrição física.
3. Subordinar o restante do sistema à política de exploração da restrição: todos os demais recursos do sistema devem ser administrados de forma que eles assegurem a capacidade máxima da restrição e não mais do que isso.

4. Elevar a restrição do sistema: aumentar a capacidade da restrição, ou seja, reforçar o elo mais fraco. Se a capacidade da restrição for aumentada, eventualmente aparecerão novas restrições para serem estudadas (a restrição muda de lugar).
5. Se a restrição for quebrada, voltar ao primeiro passo: essa prática garante que a TOC seja um processo de melhoria contínua, evitando que a inércia de ações se torne uma restrição.

Figura 5 - Os Cinco Passos de Melhoria Contínua da TOC



Fonte: Adaptado de Goldratt e Cox (1984) e Rahman (1998)

Uma vez que em qualquer sistema existirão restrições, o gerenciamento das mesmas acarretará em um controle mais eficaz ou melhores ganhos (WATSON; BLACKSTONE; GARDNER, 2007). Quando são abordadas restrições físicas relacionadas com processos produtivos, a TOC propõe que a soma dos ótimos locais não é igual ao ótimo total e estabelece nove princípios básicos para a otimização desse tipo de processo logístico, baseados nos conceitos oriundos da OPT (GOLDRATT; FOX, 1986):

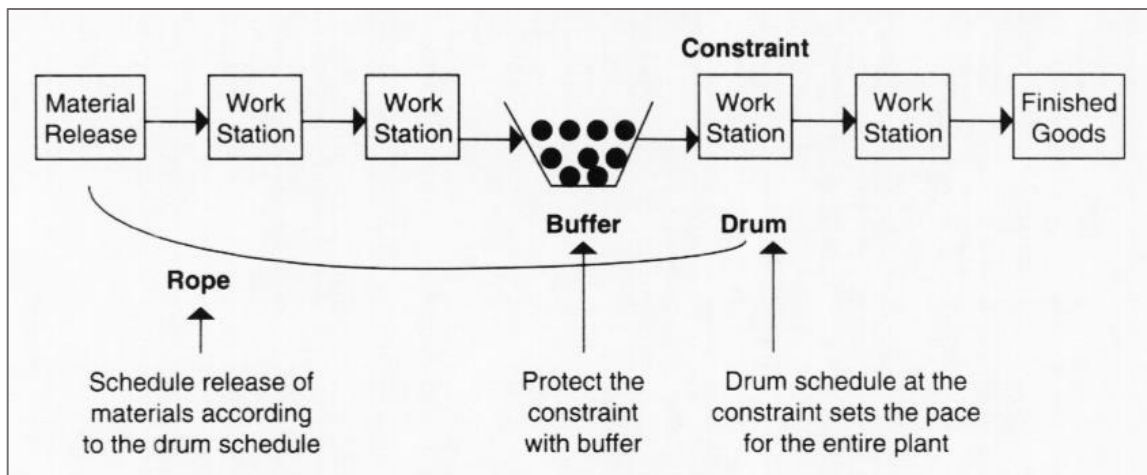
1. O importante é balancear o fluxo e não a capacidade instalada.
2. A utilização de um recurso não restritivo não é determinada por sua capacidade, mas sim pela capacidade da restrição.
3. A ativação de um recurso não significa sua utilização.

4. A perda de tempo no recurso com restrição de capacidade (RRC) significa a perda de tempo em todo sistema.
5. A economia de tempo em um recurso não restritivo não é uma economia, mas uma ilusão.
6. O sistema como um todo deve estar alinhado à restrição.
7. Os lotes de transferência não precisam e às vezes nem devem ser iguais aos lotes de processamento.
8. Os lotes de processamento devem ser variáveis e não fixos, de forma a se adequarem a diferentes situações.
9. A programação deve ser estabelecida para atender todas as exigências de todas as restrições simultaneamente.

De acordo com a TOC, a técnica utilizada para gerenciar os recursos logísticos a fim de maximizar os ganhos, baseada nesses nove princípios, é denominada *Drum-Buffer-Rope* (DBR), ou Tambor-Pulmão-Corda (TPC) (GOLDRATT; COX, 1984; GOLDRATT; FOX, 1986; COX; SPENCER, 1997).

A utilização dessa técnica permite sincronizar a produção através do balanceamento do fluxo produtivo e não da capacidade individual de cada recurso. Ela é considerada uma poderosa ferramenta de programação pois sua metodologia é simples e eficaz, gerando resultados efetivos na lucratividade da empresa (GOLDRATT; FOX, 1986; SCHRAGENHEIM; RONEN, 1990; RAHMAN, 1998). A Figura 6 ilustra um modelo simples do método Tambor-Pulmão-Corda (TPC).

Figura 6 - Representação simples do Método Tambor-Pulmão-Corda (TPC)



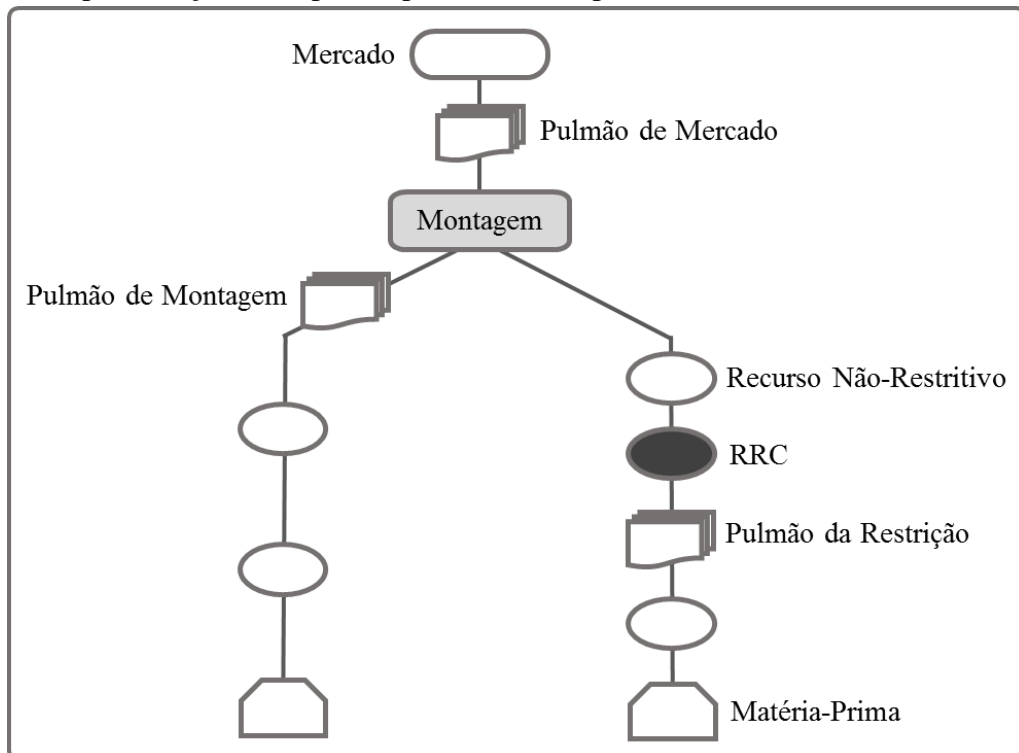
Fonte: Umble, Umble e Von Deylen (2001)

O Tambor (*Drum*) dita o ritmo a ser seguido, em outras palavras, é a programação da restrição. Os demais recursos não restritivos devem seguir o ritmo da restrição e por possuírem maior capacidade do que a demanda não é necessário programá-los, mas sim gerenciá-los, para evitar falhas que comprometam a restrição.

O Pulmão (*Buffer*) é a proteção do sistema criada para evitar interrupções no fluxo de produção, definida em função do tempo de resposta e da velocidade das operações, sendo medida em unidades de tempo.

Basicamente existem três tipos de pulmões de tempo (SCHRAGENHEIM; RONEN, 1990, 1991), sendo o Pulmão da Restrição aquele necessário para a proteção da restrição, contendo material em processo, e localizado em frente ao RRC, evitando que o mesmo tenha o seu trabalho interrompido. O Pulmão de Montagem é aquele que contém itens processados por um recurso não restritivo, mas que são montados juntamente com itens oriundos do RRC, necessário para a exploração da restrição em sua totalidade. O Pulmão de Expedição é aquele que contém produtos acabados e prontos para embarque, necessário para proteger a entrega ao cliente, garantindo o desempenho de entrega. A Figura 7 mostra os diferentes tipos de pulmão relacionados ao método TPC.

Figura 7 - Representação dos tipos de pulmão de tempo



Fonte: Adaptado de Mahapatra e Sahu (2006)

A Corda (*Rope*) é o mecanismo que nivela os recursos, garantindo que todos operarão no mesmo ritmo da restrição, ou seja, no ritmo determinado pelo Tambor, não mais do que isso.

De acordo com Fry, Karwan e Steele (1991), a metodologia TPC oferece uma alternativa aos modelos tradicionais de gestão logística, no que tange aos desejos de redução de inventário e de tempo de processo (*lead-time*). Aplicações práticas mostram que o TPC fornece um mecanismo simples para atingimento de metas de redução de inventários e estoques intermediários, aumento de velocidade de fluxos de processo, redução do tempo de processamento, e aumento de qualidade e produtividade (DEMMY; DEMMY, 1994).

Corbett e Csillag (2001) desenvolveram um trabalho de avaliação da implementação do método TPC aplicado a sete diferentes empresas fornecedoras de peças para o setor automotivo e concluíram que as mesmas começaram a mostrar resultados positivos e evidentes já nos primeiros meses após o início dos trabalhos. De acordo com os autores a redução média dos *lead-times* de processo foi de 43%, e a redução média do *WIP* foi de 50%, enquanto que o aumento médio de capacidade produtiva foi de 22%, o aumento médio de receitas foi de 27% e o aumento médio do desempenho de entrega foi de 33%.

Como exemplo de avaliação do sucesso da implementação da TOC nas organizações, pode-se citar o trabalho de Mabin e Balderstone (2003), que examinaram cerca de oitenta implantações bem-sucedidas da aplicação da TOC, provenientes de casos com disponibilidade de dados quantitativos. Os resultados mostraram que mais de 50% das organizações atingiram melhorias nas receitas e nos lucros e mais de 80% apresentaram melhorias nos prazos de entrega, tempos de ciclo e inventário.

Umble, Umble e Murakami (2006) relataram em seu trabalho que a introdução da TOC em uma empresa japonesa, através da utilização da técnica dos cinco passos e das ferramentas operacionais do TPC e do gerenciamento dos pulmões (*Buffer Management*), mostrou melhorias de desempenho relacionadas à redução de 60% dos *lead-times* de produção, aumento de 20% na capacidade produtiva e aumento do desempenho de entrega de 40% para 85%. Após os bons resultados alcançados, a filosofia TOC foi implantada em toda organização, mesmo nas atividades não produtivas.

De um modo geral a utilização da TOC visa encontrar soluções simples para os problemas apresentados por sistemas mais complexos (GOLDRATT; COX, 1984), ou como apresentado por Kasemset (2011), a TOC é um conceito de melhoria contínua desenvolvido para alcançar mais vantagens competitivas que podem estar relacionadas a preço/custo, qualidade do produto, confiabilidade de entrega, reduções de estoque, entre outras.

2.2.1 A Evolução da Teoria das Restrições

A TOC evoluiu nos últimos anos e vem se consagrando como uma teoria não apenas de melhoria contínua, mas também como uma forma de gestão, como observado nos trabalhos de Blackstone (2001), Mabin e Balderstone (2003), Boyd e Gupta (2004), Davies, Mabin e Balderstone (2005), Watson, Blackstone e Gardner (2007), Kim, Mabin e Davies (2008), entre outros.

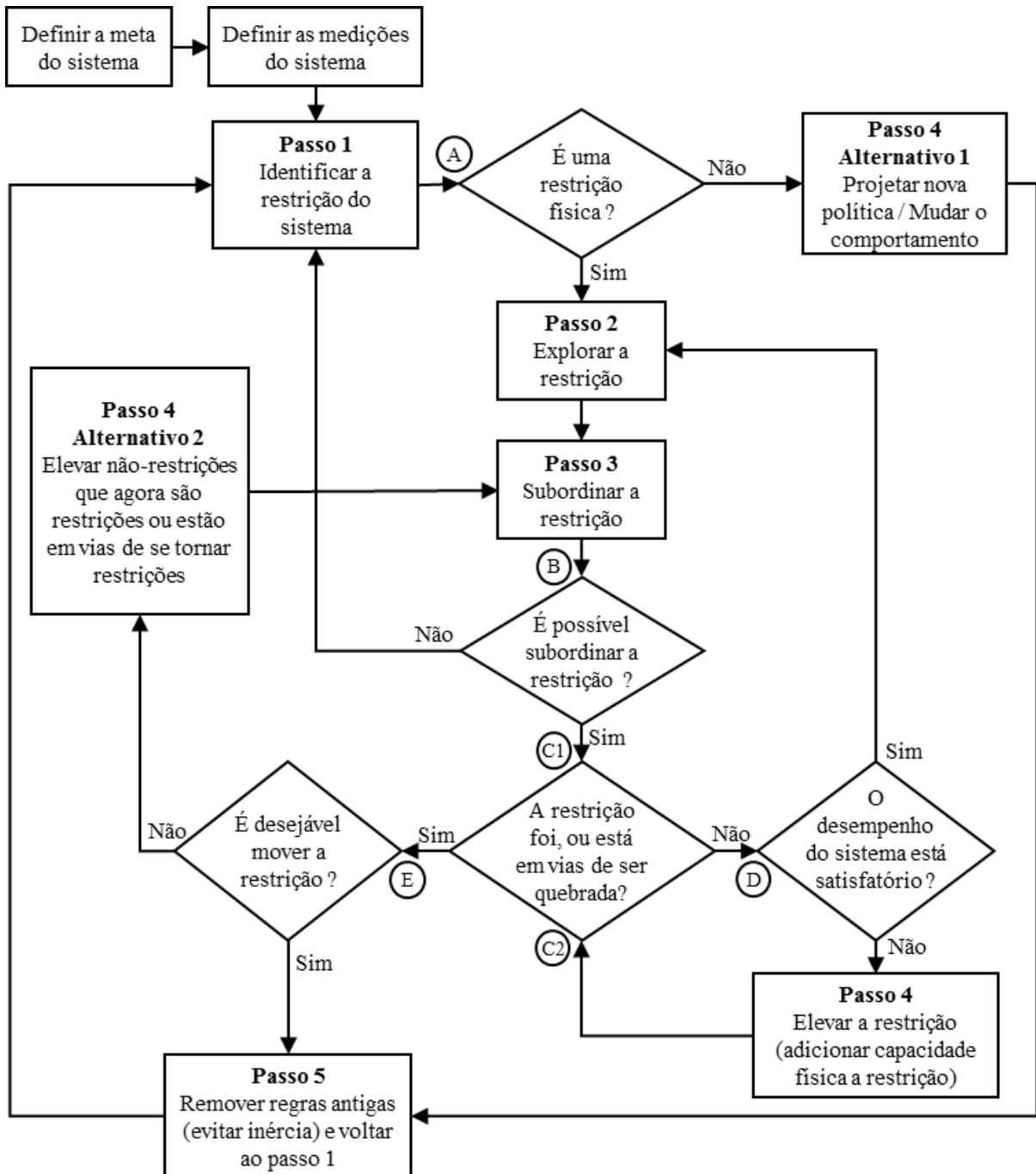
Para Gupta e Boyd (2008) a TOC proporciona uma abordagem para tomada de decisões operacionais que evita armadilhas de otimizações locais, indo além das fronteiras funcionais das organizações, colaborando como uma teoria geral de gestão de operações, fornecendo ainda novas perspectivas para pesquisadores.

Naor, Bernardes e Coman (2013) mostram, em uma extensa revisão da literatura, que a TOC apresenta características que satisfaz as virtudes de uma boa teoria, avançando no diálogo acadêmico como ferramenta de gestão e melhoria contínua, aumentando sua credibilidade perante gestores e executivos como uma teoria formal de gerenciamento de operações.

Dentre os estudos recentes pode-se destacar o trabalho de Pretorius (2014), que propõe uma ampliação do modelo dos cinco passos de melhoria da TOC originalmente elaborado por Goldratt e Cox (1984), baseado na definição de Cox e Spencer (1997) de que restrições podem ser tanto físicas, quanto não-físicas (comportamentais / políticas).

Ele sugere a inserção de pontos de tomada de decisão entre os passos, a fim de aumentar a possibilidade de aplicação do modelo para os dois tipos de restrição, transformando os cinco passos em um mapa de tomada de decisões, conforme ilustrado na Figura 8 e melhor explicado na sequência do trabalho.

Figura 8 - Os Cinco Passos da TOC com inserção dos pontos de tomada de decisão



Fonte: Adaptado de Pretorius (2014)

- Passo 1 - Identificar a Restrição: esse passo tem a mesma definição inicial preconizada por Goldratt e Cox (1984), porém o que o torna diferente é o fato de que a natureza da restrição não é importante, podendo ser física ou não-física (comportamental / política). Quando este passo é dado pela primeira vez ele é considerado um passo tático, mas quando o ciclo dos cinco passos for repetido várias

vezes ele pode se transformar em uma decisão estratégica, levando a uma mudança de ao invés de identificar a restrição, decidir qual o melhor local para a mesma.

- Ponto de Decisão A: após a identificação da restrição no Passo 1, avaliar se a mesma é uma restrição física ou não-física. Se for física, seguir para o Passo 2, caso contrário prosseguir para o Passo 4 Alternativo 1, onde o significado de elevar mudará para remover e substituir.
- Passo 2 - Explorar a Restrição: este passo só é aplicado a restrições físicas, uma vez que o seu significado é otimizar o uso do recurso restritivo até o seu limite. Depois de decidir como explorar a restrição física, seguir para o Passo 3.
- Passo 3 - Subordinar a Restrição: semelhante ao Passo 2, o Passo 3 só é aplicável para restrições físicas, uma vez que não é possível subordinar a uma restrição não-física, e segue a mesma definição de Goldratt e Cox (1984). Para restrições físicas internas o método de subordinação usado é o Tambor-Pulmão-Corda (TPC).
- Ponto de Decisão B: esse ponto de decisão certifica se a correta restrição foi escolhida, caso contrário os resultados não serão os esperados, fazendo com que uma restrição seja subordinada a uma não-restrição. Se a restrição escolhida é a correta, siga para o Ponto de Decisão C1.
- Ponto de Decisão C1: após a verificação da correta escolha da restrição, ela deve ser avaliada para determinar se foi, ou se está em vias de ser quebrada. Se a resposta for afirmativa, seguir para o Ponto de Decisão E. Se isso ocorrer é sinal de que tanto as restrições, quanto as não-restrições não dão sinais de que serão restrições em um futuro próximo. Se a resposta for negativa, seguir para o Ponto de Decisão D.
- Ponto de Decisão C2: a avaliação feita neste ponto é exatamente a mesma efetuada para o ponto de decisão C1, embora a chegada ao mesmo ocorra devido a elevação da restrição (Passo 4) e não devido aos efeitos da exploração e subordinação (Passo 2 e Passo 3).
- Ponto de Decisão D: se o desempenho do sistema é satisfatório deve-se retornar para ao Passo 2 e subsequentemente aos demais passos, completando a atividade de gestão do dia-a-dia. Se o desempenho não é satisfatório deve-se seguir para o Passo 4 (elevar a restrição), ou seja, adicionar capacidade física. Esse caminho é estratégico, uma vez que a elevação pode requerer investimento de capital ou grandes despesas.

- Ponto de Decisão E: essa decisão é considerada estratégica e lida com o desejo de mover a restrição ou de deixá-la no mesmo local. Se não é desejável que a restrição permaneça no mesmo local ela deve ser movida, seguindo ao Passo 5. Caso contrário avançar para o Passo 4 Alternativo 2.
- Passo 4 - Elevar a Restrição: esse passo também tem a mesma definição preconizada por Goldratt e Cox (1984), ou seja, para elevar a restrição é necessária a adição de recursos, sejam eles equipamentos, ou pessoas. O Passo 4 também é aplicável somente para restrições físicas. Após esse passo deve-se seguir ao Ponto de Decisão C2.
- Passo 4 Alternativo 1: esse passo é introduzido para atender as restrições não-físicas, que são aquelas derivadas de políticas ou de comportamentos, os quais não podem ser exploradas, nem subordinadas. Com isso são previstas novas concepções de políticas e/ou modificações de comportamento, sendo uma decisão de natureza estratégica. Após essa etapa deve-se seguir ao Passo 5.
- Passo 4 Alternativo 2: esse passo foi criado para atender a restrições físicas que foram, ou estão em vias de serem quebradas, mas que não são desejáveis que se movam. Se nada for feito a restrição irá se mover naturalmente e para que isso não ocorra é necessário que as novas restrições que aparecerem sejam elevadas e, uma vez concluídas, voltar ao Passo 3, subordinando a agora elevada restrição. Semelhante a todas as outras variações do Passo 4, esse é um passo estratégico. Uma vez que esse passo for bem executado, o desempenho geral do sistema aumentará, sem que a restrição tenha se movido.
- Passo 5 - Remover as regras antigas e voltar ao Passo 1: isto significa que todas as velhas regras anteriores relativas à restrição (física ou não-física) ou a não-restrições, precisam ser removidas para evitar inércia, retornando ao Passo 1, garantindo o processo de melhoria contínua.

A abordagem proposta por Pretorius não tenta invalidar ou mudar fundamentalmente os cinco passos propostos por Goldratt, mas sim, melhorar a compreensão deles, permitindo uma aplicação mais prática e clara. De acordo com Sims e Wan (2015) o trabalho de Pretorius pode ser considerado como a segunda evolução da TOC.

2.3 INTEGRAÇÃO DA MANUFATURA ENXUTA E TEORIA DAS RESTRIÇÕES

Os primeiros trabalhos que podem ser relacionados a utilização conjunta da Manufatura Enxuta e da Teoria das Restrições remetem aos estudos comparativos das técnicas JIT, MRP e OPT, sendo essa última a precursora da TOC, e uma relativa novidade até então.

Aggarwal e Aggarwal (1985) foram uns dos autores pioneiros nos estudos que relacionam as duas abordagens, através do seu trabalho de comparação entre JIT/Kanban e o OPT, onde concluíram que cada uma dessas técnicas desafiava velhas suposições e até mesmo critérios existentes de gestão, e que ambas são boas naquilo que se propõe apesar dos diferentes pontos de vista, podendo ser complementares. Porém, outro ponto levantado pelos autores é que ambos os métodos são dependentes de pessoas, em maior ou menor grau, o que pode levá-los a falhas.

Da mesma forma Gelders e Van Wassenhove (1985) analisaram o comportamento das técnicas MRP, JIT e OPT em ambientes onde as restrições de capacidade eram predominantes, concluindo que a melhor solução não era o uso de uma ou outra técnica, mas sim, a criação de um sistema híbrido com o melhor de cada uma delas, uma vez que eram complementares ao invés de serem mutuamente exclusivas. Na visão deles, o OPT continha algumas características distintas interessantes, se comparado a outras técnicas conhecidas.

Hein (1999) concluiu que a utilização das técnicas e disciplinas da manufatura enxuta incorporadas com o poder de foco da teoria das restrições aumentam a efetividade do processo de melhoria contínua e criam um ambiente de satisfação para os times participantes. Dessa forma os gestores podem concentrar os esforços nos processos que terão o maior retorno, sem se preocupar com questões gerenciais, conseguindo resultados que convergem por facilitar a aceitação do uso das duas técnicas.

Ao longo dos últimos vinte anos diversos outros autores também realizaram estudos relacionando as abordagens das duas teorias incluindo suas técnicas/ferramentas, não só explorando a sinergia entre elas, mas também as comparando. Nesse contexto, o trabalho de Utiyama e Godinho Filho (2013) avaliou a literatura disponível relacionada a ambas as teorias as dividindo em dois grupos principais: os trabalhos que mostram que alguma abordagem/ferramenta se sobressai em alguma situação específica e os trabalhos que mostram que as abordagens/ferramentas são complementares. O resultado da avaliação desses dois grupos pode ser visto, respectivamente, no Quadro 2 e no Quadro 3.

Quadro 2 - Trabalhos que mostram que alguma abordagem/ferramenta se sobressai

(continua)

Artigo / Ano de publicação	Método de Pesquisa	Melhor Abordagem / Ferramenta	Com relação a quais variáveis	Situação / Ambiente
PLENERT, G.; BEST, T.D. (1986)	Teórico- Conceitual	OPT	O OPT é mais completo que o JIT	O OPT é mais completo que o JIT, pois inclui muitas das características do JIT mais alguns benefícios adicionais.
GRUNWALD, H.; STRIKWOLD, P.E.T.; WEEDA, P.J. (1989)	Modelagem/ Simulação	JIT	Complexidade do sistema	Em um ambiente baseado em informação previamente discutida na literatura, os autores afirmam que para situações com baixa incerteza e complexidade o Kanban é indicado.
		TOC	Complexidade do sistema	Em um ambiente baseado em informação previamente discutida na literatura, os autores afirmam que quando a complexidade aumenta o OPT é indicado.
LAMBRECHT, M.; SEGAERT, A. (1990)	Modelagem/ Simulação	DBR	Throughput	Padrão de fluxo flow shop com seis estações de trabalho em situações em que exista um nível de estoque de segurança igual em cada estação e, também, em situações em que, além disso, existirem pontos de reposição em todas as estações de trabalho.
RAMSAY, S.; BROWN, S.; TABIBZADEH, K. (1990)	Modelagem/ Simulação	DBR	Scheduling: a abordagem puxada é sensível à falta de priorização. DBR é o mais bem sucedido.	Quatro estações de trabalho baseado em um sistema com múltiplos produtos.
GARDINER, S.C.; BLACKSTONE, J.H.; GARDINER, L.R. (1994)	Teórico- Conceitual	DBR	Throughput e Estoque	Em um ambiente com múltiplos produtos, o DBR é mais apropriado que o Kanban porque ele não requer um nível de estoque de segurança para cada peça frente a cada recurso. Ou seja, para atingir o mesmo throughput em um ambiente com múltiplos produtos, o DBR requer menos estoque do que o Kanban.
COOK, D.P. (1994)	Modelagem/ Simulação	TOC	Throughput e desvio padrão do tempo de fluxo.	Padrão de fluxo flow shop, cinco estações de trabalho e um único tipo de produto.
CHAKRAVORTY, S.S.; ATWATER, J.B. (1996)	Modelagem/ Simulação	JIT	O JIT tem melhor desempenho quando a variabilidade do sistema é baixa.	Padrão de fluxo flow shop, com cinco estações de trabalho, um único produto.
		TOC	É menos afetado pela variabilidade do sistema.	Padrão de fluxo flow shop, com seis estações de trabalho, um único produto.

Quadro 2 - Trabalhos que mostram que alguma abordagem/ferramenta se sobressai
(continuação)

Artigo / Ano de publicação	Método de Pesquisa	Melhor Abordagem / Ferramenta	Com relação a quais variáveis	Situação / Ambiente
MILTENBURG, J. (1997)	Modelagem/ Simulação	JIT	O JIT chega próximo aos mínimos níveis de estoques e tempo de fluxo.	Padrão de fluxo flow shop com duas estações de trabalho e um único tipo de produto.
		TOC	A TOC chega próximo ao máximo throughput e mínima falta (shortage), além disso, as melhorias na TOC são focadas nas áreas que mais afetam o nível de throughput, enquanto que no JIT as melhorias não são tão focadas como na TOC.	Padrão de fluxo flow shop com duas estações de trabalho e um único tipo de produto.
HURLEY, S.F; WHYBARK, D.C. (1999)	Modelagem/ Simulação	TOC	TOC obtém maior throughput, menor tempo de fluxo, e maior utilização do que o JIT.	Padrão de fluxo flow shop, cinco estações de trabalho, com três modelos de um produto, considerando suprimento perfeito e tempos de setup desprezíveis nas duas primeiras estações.
BOLANDER, S.F.; TAYLOR, S.G. (2000)	Teórico- Conceitual	JIT	Complexidade do sistema, requerimento de dados.	JIT tende a funcionar melhor em ambientes de manufatura com fluxo estável. O JIT requer pouco ou nenhum dado, enquanto a TOC requer precisão de dados no recurso gargalo.
		TOC	Complexidade do sistema	TOC funciona bem tanto em ambientes de manufatura com fluxo estável quanto com padrão de fluxo job shop, desde que exista um único recurso restritivo no processo.
SALE, M.L.; INMAN, R.A. (2003)	Survey	TOC	Utilizando critério próprio a TOC apresentou o melhor desempenho e melhora de desempenho seguida pela abordagem híbrida JIT/TOC, JIT e tradicional.	Nas 180 empresas respondentes do Survey, que relataram adotar alternativamente as abordagens: JIT, TOC, JIT/TOC ou nenhum dos dois (manufatura tradicional).
LEA, B.R; MIN, H. (2003)	Modelagem/ Simulação	JIT	O JIT supera o TOC com respeito à lucratividade à longo e curto prazo, nível de serviço e estoque em processo (WIP).	O ambiente de simulação foi composto por sete estações de trabalho que processam três produtos diferentes para estoque (make-to-stock).

Quadro 2 - Trabalhos que mostram que alguma abordagem/ferramenta se sobressai
(conclusão)

Artigo / Ano de publicação	Método de Pesquisa	Melhor Abordagem / Ferramenta	Com relação a quais variáveis	Situação / Ambiente
TAKAHASHI, K.; MORIKAWA, K.; CHEN, Y.C. (2007)	Modelagem/ Simulação	Kanban	Custo total	Padrão de fluxo flow shop, três estações de trabalho e que processa um único tipo de produto. O Kanban torna-se superior ao DBR em situações em que os itens estocados em buffers que precedem o gargalo são menos importantes.
		DBR	Custo Total	Padrão de fluxo flow shop, três estações de trabalho, e que processa um único tipo de produto. O DBR torna-se superior quando os itens estocados no buffer do recurso gargalo são importantes e sob condições em que as demandas rejeitadas são um fator importante.
JOLDBAUER, H.; HUBER, A. (2008)	Modelagem/ Simulação	DBR	Robustez	Padrão de fluxo flow shop, seis estações de trabalho, com dez itens diferentes. A única exceção a esta ordem é quando a variabilidade aumenta e há níveis baixos de estoques, o Kanban supera o DBR.
		DBR	Nível de serviço	Padrão de fluxo flow shop, seis estações de trabalho, com dez itens diferentes.
		Kanban	Estabilidade	Padrão de fluxo flow shop, seis estações de trabalho, com dez itens diferentes. Kanban tem mais estabilidade que o DBR, contudo a maior vantagem do DBR sobre o Kanban é o baixo número de parâmetros da estratégia de planejamento e controle da produção (PPCS) que precisam ser ajustados.
PATTI, A.; WATSON, K.J.; BLACKSTONE, J.H. (2008)	Modelagem/ Simulação	DBR	Robustez	Em um flow shop com seis estações de trabalho, um único produto e com lote de transferência e processamento iguais a um, o DBR é mais robusto que o Kanban, quando enfrenta paradas não planejadas de máquina, pois o segundo é suscetível a bloqueio e à falta de habilidade para suavizar a demanda por meio da produção de WIP temporário entre as máquinas. Adicionalmente, uma vez que os estoques de segurança estão espalhados pelo sistema ao invés de concentrados na restrição, o Kanban é mais suscetível à falta (starvation) na restrição.
WATSON, K.J.; PATTI, A. (2008)	Modelagem/ Simulação	DBR	Throughput, tempo de fluxo, variabilidade do sistema e robustez.	Padrão de fluxo flow-shop, com cinco estações de trabalho, que processa um único tipo de produto, com linha não balanceada e supondo paradas não planejadas de máquina.

Fonte: Adaptado de Utiyama e Godinho Filho (2013)

Quadro 3 - Trabalhos que mostram que as abordagens/ferramentas são complementares

(continua)

Artigo / Ano de publicação	Método de Pesquisa	Quais Abordagens / Ferramentas	Motivo	Forma
AGGARWAL, C.S.; AGGARWAL, S. (1985)	Teórico- Conceitual	JIT, TOC e MRP	As três abordagens são boas mas problemas com as pessoas podem destruir a eficácia das mesmas	O JIT e a TOC podem resolver a maioria dos problemas com as pessoas
GELDERS, L.F; WASSENHOVE, L.N.V. (1985)	Teórico- Conceitual	JIT, TOC e MRP	AS três abordagens se complementam e a melhor solução é provavelmente um sistema híbrido entre eles	O OPT planejaria cuidadosamente as restrições no médio prazo (forneceria um bom programa mestre), o MRP geraria os requisitos de materiais (seria uma poderosa base de dados para controlar milhares de itens)e, no curto prazo e para a parte repetitiva da empresa, o JIT seria utilizado para maximizar o throughput
LAMBRECHT, M.R.; DECALUWE, L. (1988)	Modelagem/ Simulação	JIT, TOC e MRP	JIT e a teoria das restrições podem lidar com os problemas do MRP	O MRP pode ser usado como um sistema de planejamento e o JIT e o TOC em nível operacional
PTAK, C. (1991)	Teórico- Conceitual	MRP, MRP II, JIT, OPT e CIM	O autor conclui que o sucesso futuro da manufatura não pode depender de apenas uma abordagem, e que a melhor opção é realizar uma combinação entre todas as abordagens discutidas	Não sugere
NEELY, A.D.; BYRNE, M.D. (1992)	Modelagem/ Simulação	JIT, TOC e MRP II	Defendem a idéia de que o JIT, o TOC e o MRP II são na verdade complementares e buscam propor uma estrutura que integre os três sistemas	MRP II seria uma base de dados para promover a integração, o JIT uma estrutura organizacional que asseguraria a melhoria contínua e o OPT um software que geraria programações detalhadas para maximizar a lucratividade
HEIN, K. (1999)	Teórico- Conceitual	TOC, JIT e TQM	Fazer com que a eficácia dos esforços de melhoria contínua aumente	Incorporar a análise focada da Teoria das restrições com as técnicas e disciplinas da Manufatura Enxuta, dessa forma o gerenciamento pode focar os esforços de melhoria nas áreas que irão prover o maior retorno
DETTMER, H.W. (2001)	Teórico- Conceitual	TOC, JIT	Um sistema híbrido entre as abordagens JIT e TOC é potencialmente mais robusto (mais produtivo e mais fácil de implementar) do que um dos dois separadamente	Um modelo conceitual é proposto, o qual integra ambas as abordagens e faz uso de seus pontos fortes e benefícios, afim de obter melhor desempenho
FERGUSON, L. (2002)	Teórico- Conceitual	JIT, TOC	O autor revisa os principais conceitos do JIT, discute seus efeitos indesejáveis e avalia os links entre seus vários elementos	Utiliza a TOC para analisar o JIT e melhorar sua eficácia

Quadro 3 - Trabalhos que mostram que as abordagens/ferramentas são complementares
(conclusão)

Artigo / Ano de publicação	Método de Pesquisa	Quais Abordagens / Ferramentas	Motivo	Forma
HUANG, H.H. (2002)	Modelagem/ Simulação	JIT, TOC e MRP	Encontrar um modelo de produção de manufatura para ser aplicado em ambientes competitivos e de mudança não antecipada e constante	O modelo desenvolvido é chamado de modelo integrado puxado-empurrado sobre o conceito da TOC e visa controlar a manufatura como um todo, por meio da distribuição ou carregamento de peças ou materiais para o sistema produtivo desde o início, de acordo com o programa mestre de produção. Dessa forma, o desempenho do sistema será reforçado, pois irá enviar os materiais exatos para a planta de modo a fazer frente às programações variadas e fornecerá os materiais que os recursos restrição requerem utilizando a programação puxada. As operações depois do recurso restrição e aqueles recursos não restritivos irão operar de acordo com a programação empurrada de modo a aumentar a taxa de produção e utilização tanto quanto possível
VENKATESH, M.A.; WAKCHAURE, V.D.; KALLURKAR, S.P. (2007)	Survey	JIT, TOC, TPM, TQM e SCM	Conduzem um survey, e os resultados mostram a necessidade de implementação conjunta entre abordagens para revitalizar a manufatura	Fornecem uma estrutura teórica que integra as cinco abordagens
YANYING, C.; BINBIN, J. (2008)	Teórico- Conceitual	JIT, TOC e MRP II	Os autores partiram da constatação de que as abordagens de planejamento e controle da produção apresentam limitações e defeitos quando utilizados em empresas de serviços, pois eles não conseguem fornecer os requerimentos necessários de flexibilidade e agilidade impostos pelo ambiente competitivo, mudanças constantes de demanda de mercado e as características dos serviços em si	O sistema integrado proposto implementa o controle do fluxo de material, capacidade de serviço e qualidade em produção e ajusta os defeitos causados pelo controle empurrado do MRP II e do controle puxado do JIT. Além disso, o controle JIT/TOC implementa o controle dinâmico de operações para lidar com a mudança constante de demanda de mercado, controlar a qualidade de modo a atingir heterogeneidade necessária em serviços, e controlar os recursos gargalo de modo a modificar e ajustar os planos de produção
WANG, Y.; CAO, J.; KONG, L. (2009)	Modelagem/ Simulação	Kanban, CONWIP, TOC	Visam propor um sistema de controle híbrido Kanban/CONWIP baseado na TOC	O TOC tem vantagens em lidar com problemas nos recursos restritivos e o mesmo foi incorporado ao sistema híbrido Kanban/Conwip de forma a obter um melhor desempenho

Fonte: Adaptado de Utiyama e Godinho Filho (2013)

Baseado no exposto no Quadro 2 e no Quadro 3, Utiyama e Godinho Filho (2013) concluíram não ser possível afirmar categoricamente que uma das abordagens e/ou ferramentas é melhor do que outra, pois, apesar do maior número de trabalhos afirmando que a TOC / DBR se sobressaem, em certas situações o JIT / Kanban também se sobressaem. Logo, só é possível escolher adequadamente uma das abordagens, ou mesmo abordagens complementares após uma correta avaliação da empresa e do seu ambiente, de modo a obter os ganhos esperados.

Por outro lado, Taj e Berro (2006) demonstraram que a manufatura enxuta e o gerenciamento de restrições podem trabalhar em conjunto obtendo melhorias de produtividade, eficiência e qualidade. A aplicação prática da combinação de ambas as abordagens, feita pelos autores em uma empresa do setor automotivo, conseguiu resultados diretos em reduções de tempos de ciclo, através do uso das técnicas para eliminação de desperdícios advindas da manufatura enxuta (reduções de operações e movimentos desnecessários, e também de redução de tempos de espera) e do uso das técnicas advindas da teoria das restrições para foco na mudança que resultou o maior aumento de resultados.

Ramos e Tenera (2009) afirmaram que às vezes, devido a deficiências de atendimento, muitas empresas tomam como decisão a aquisição de mais capacidade antes de explorarem plenamente os recursos restritivos. Eles salientam que as etapas de exploração devem ser concentradas e focadas na eliminação dos desperdícios mais contundentes, principalmente aqueles que provocam custos desnecessários.

Ainda de acordo com os autores, em uma aplicação de manufatura enxuta todos os diferentes tipos de reduções de desperdícios são comemorados e, apesar da eliminação dos mesmos ser uma tarefa importante, deve-se levar em consideração que eles não são gerados de maneira equilibrada ao longo dos processos. Nesse caso, as atividades relacionadas à combinação das ferramentas da TOC e da ME devem ser priorizadas baseadas no impacto das mesmas no resultado final.

Um exemplo de sucesso na aplicação das duas teorias em conjunto foi apresentado por Siller, Sanchez e Onofre (2010), os quais analisaram uma solução prática de melhorias, através da implementação das soluções da ME em conjunto com a TOC em um ambiente industrial onde havia a necessidade de redução do *lead time* de fabricação dos produtos destinados ao mercado de exportação. O resultado alcançado foi a redução de 20% do *lead time* de fabricação desses produtos, satisfazendo as necessidades do mercado da empresa e abrindo novas possibilidades de implantação aos gestores que identificaram na ferramenta um potencial para alavancar os negócios.

Em trabalhos mais recentes outros autores chegaram à conclusão de que a utilização das duas ferramentas converge para um resultado melhor do que a utilização de apenas uma, ou outra abordagem, onde podemos citar Kasemset (2011), que pesquisou os trabalhos relacionados a TOC classificando-os em dois grupos, sendo o primeiro deles aquele onde a TOC era aplicada isoladamente como ferramenta de melhoria contínua e o segundo aquele onde a TOC era utilizada em conjunto com outras teorias, tais como ME e Seis Sigma. O resultado do segundo grupo mostrou uma melhoria notável em comparação com o primeiro grupo.

De acordo com Okimura (2013), embora a Manufatura Enxuta e a TOC tenham sido desenvolvidas por diferentes autores, os seus conceitos fundamentais possuem elementos em comum, permitindo a complementaridade dos métodos. Enquanto algumas características de cada método poderiam restringir sua aplicação de maneira individual, tais limitações podem ser minimizadas e até eliminadas quando utilizadas de forma conjunta, ampliando sua aplicabilidade.

Santos e Alves (2015) também concluem que as diferenças entre as abordagens da TOC, que têm foco sistêmico, e da Manufatura Enxuta, que têm foco no processo, podem ser resolvidas de forma as duas se complementarem. A TOC, com o foco na restrição, pode identificar os processos principais que provêm uma maior alavancagem em relação à perspectiva global, e o pensamento enxuto, com seu foco na simplificação, pode eliminar as atividades que não agregam valor.

Um dos trabalhos mais recentes que relacionam a TOC e a ME foi elaborado por Sims e Wan (2015), em que propõem três novos métodos para identificar a restrição em ambientes “enxutos”:

- O primeiro método, denominado Análise de Restrição de Fluxo (*Flow Constraint Analysis*), avalia o atendimento das demandas baseado nos tempos de ciclo dos recursos de fabricação a fim de identificar a restrição. Esse método é comumente utilizado antes do sistema de produção ser instalado (planejamento), ou quando existem planos para aumentar a capacidade de uma instalação já existente.
- O segundo método, denominado Análise de Utilização Efetiva (*Effective Utilization Analysis*), é utilizado para identificar a restrição de um processo ou estação específica, comparando o desempenho real com o desempenho ideal do sistema. Esse método baseia-se na relação entre *WIP*, gargalos e *lead time*, onde o recurso com baixa utilização efetiva tende a ser a restrição. Ele requer a utilização de mais

cálculos e processamento de dados computacionais, significando mais tempo e esforço para implementação, porém, ele proporciona uma compreensão mais profunda do sistema analisado, sendo mais aplicável para programas de melhoria contínua.

- O terceiro método, denominado Análise Rápida de Utilização Efetiva (*Quick Effective Utilization Analysis*), é similar ao segundo método, porém, a identificação da restrição é feita de maneira mais rápida através da análise dos dados colhidos em tempo real, necessitando de pouca utilização de cálculos e processamento de dados computacionais. Ele é utilizado em situações onde os tempos de parada da linha de produção não estão disponíveis, em modelos de simulações, ou para modelar outros recursos após a identificação da restrição primária.

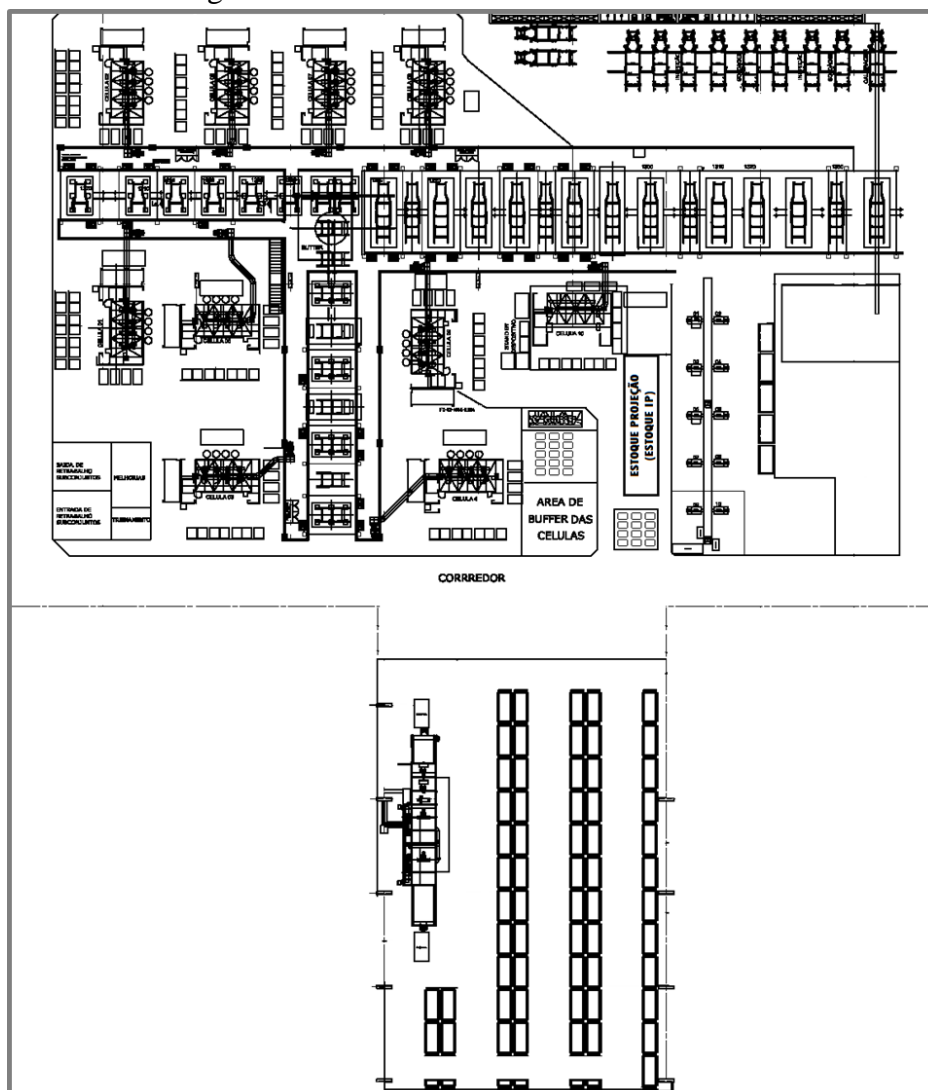
Todos os três métodos podem ser usados para identificar restrições, podendo ser utilizados de forma independente ou em conjunto, dependendo da situação. Cada um dos métodos fornece informações valiosas sobre o desempenho do sistema analisado.

3 APLICAÇÃO PRÁTICA

3.1 APRESENTAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

O objeto de estudo desse trabalho é uma linha de montagem de chassis soldados para picape e seu respectivo *Sport Utility Vehicle* (SUV) derivado, localizada em uma das plantas de uma empresa multinacional do ramo automotivo situada no Vale do Paraíba, SP. A linha em questão é apresentada na Figura 9.

Figura 9 - Linha de Montagem de Chassis Soldados



Fonte: Autor

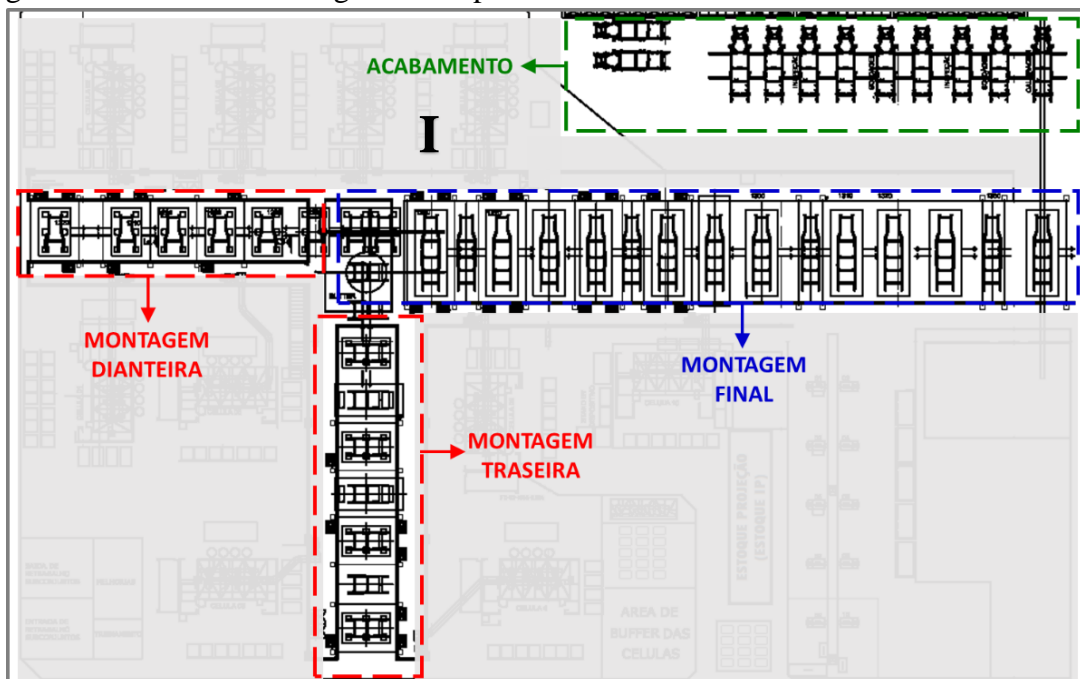
Essa linha foi planejada para um volume de cerca de 320 chassis por dia, o que equivale a um tempo *takt* de aproximadamente três minutos para montagem de cada chassi, sendo atualmente capaz de montar 11 modelos de chassis diferentes entre picapes e SUVs.

Cada chassi é composto por cerca de trezentos componentes de aço que, no volume máximo da linha, correspondem a um consumo diário de aproximadamente 96.000 itens. Somam-se a esse volume os elementos de fixação (porcas e parafusos), em torno de 125 por chassi, o que aumenta o giro de componentes em mais quarenta mil peças, totalizando um consumo de cerca de 136.000 itens por dia ao longo de todos os processos que fazem parte da linha.

A linha de montagem apresentada na Figura 9 é dividida em quatro áreas principais básicas, cada uma delas com funções específicas:

- I. Linha de Montagem Principal: é nessa área, em destaque na Figura 10, que são montados e soldados os componentes e subconjuntos que fazem parte dos chassis. Ela é subdividida em montagem dianteira, montagem traseira, montagem final e acabamento. Os componentes e subconjuntos usados na montagem dos chassis são provenientes das três outras áreas principais que serão explicadas na sequência.

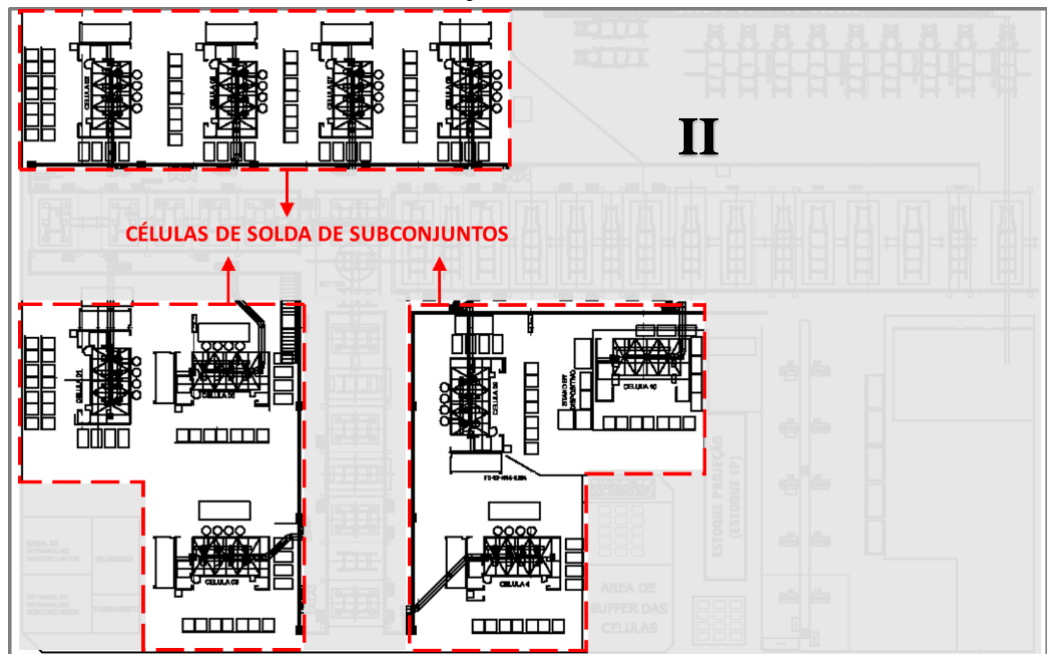
Figura 10 - Linha de Montagem Principal



Fonte: Autor

- II. Células de Solda de Subconjuntos (Células Robotizadas): nessa área são produzidos os subconjuntos soldados que abastecem a linha de montagem principal. Ela é composta por dez células de solda robotizadas, dispostas ao longo da linha de montagem principal, em destaque na Figura 11.

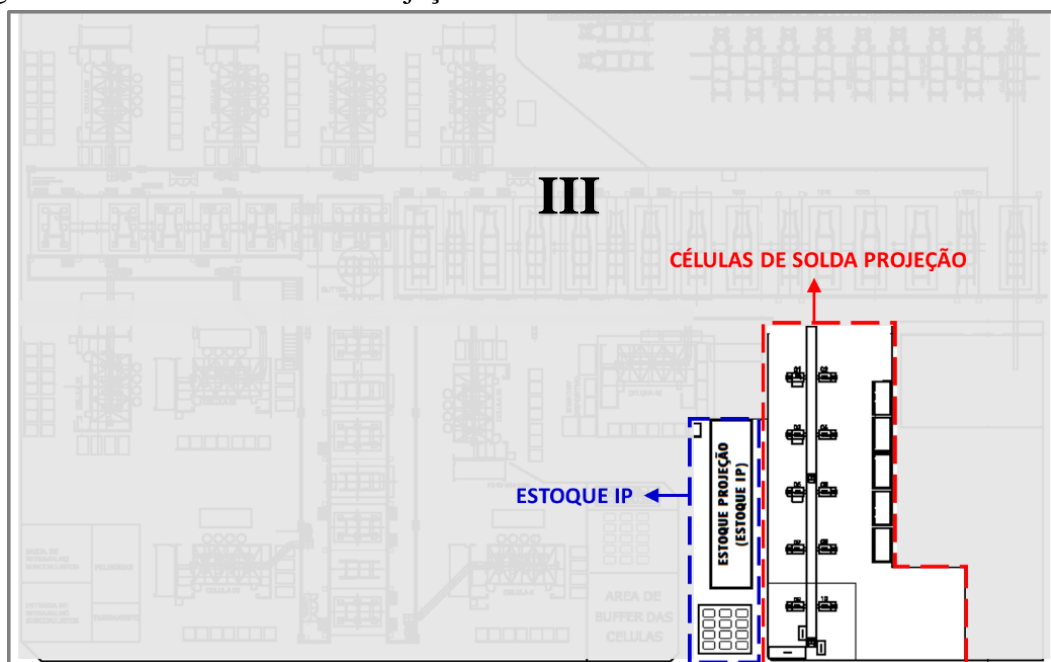
Figura 11 - Células de Solda de Subconjuntos



Fonte: Autor

- III. Células de Solda a Projeção: nessa área, em destaque na Figura 12, são montados os elementos de fixação (porcas) que, em conjunto com os componentes, são utilizados nas duas linhas citadas anteriormente. Ela é composta pelas células de solda a projeção e pelo estoque de itens processados nessas células, denominado Estoque IP.

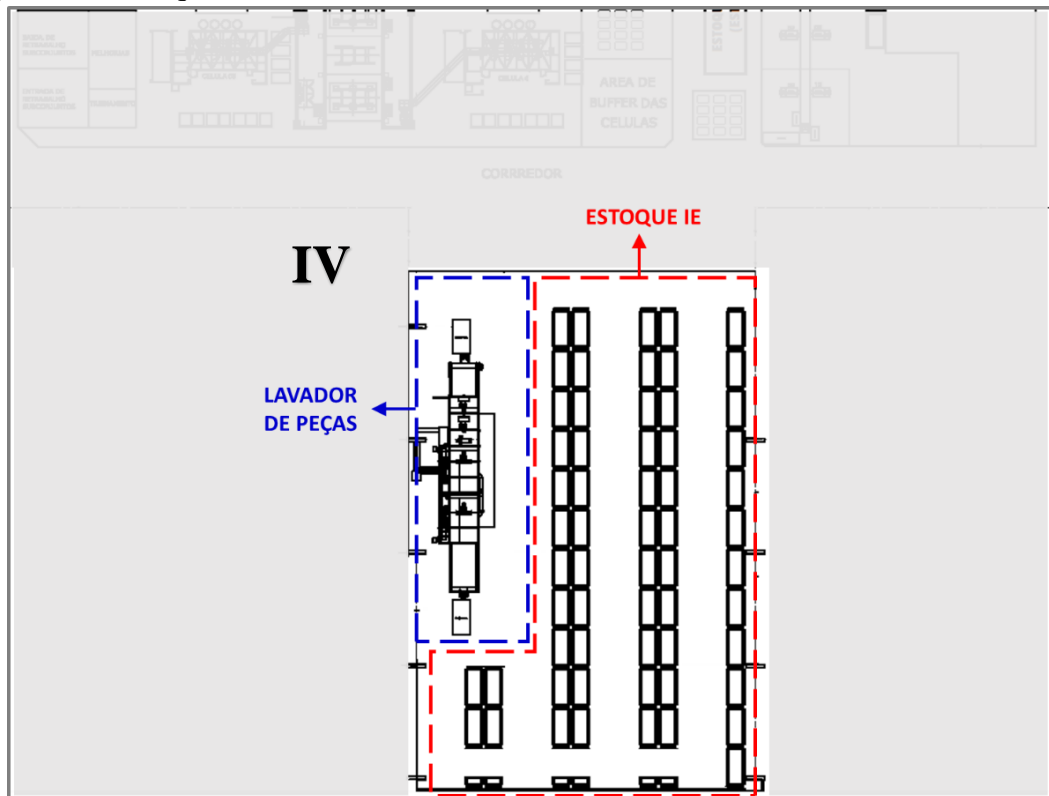
Figura 12 - Células de Solda à Projeção



Fonte: Autor

IV. Estoque: nessa área, em destaque na Figura 13, são armazenados todos os componentes que são utilizados nas três áreas citadas anteriormente. Ele é composto por uma área de armazenagem denominada Estoque IE, e também pelo lavador de peças.

Figura 13 - Estoque



Fonte: Autor

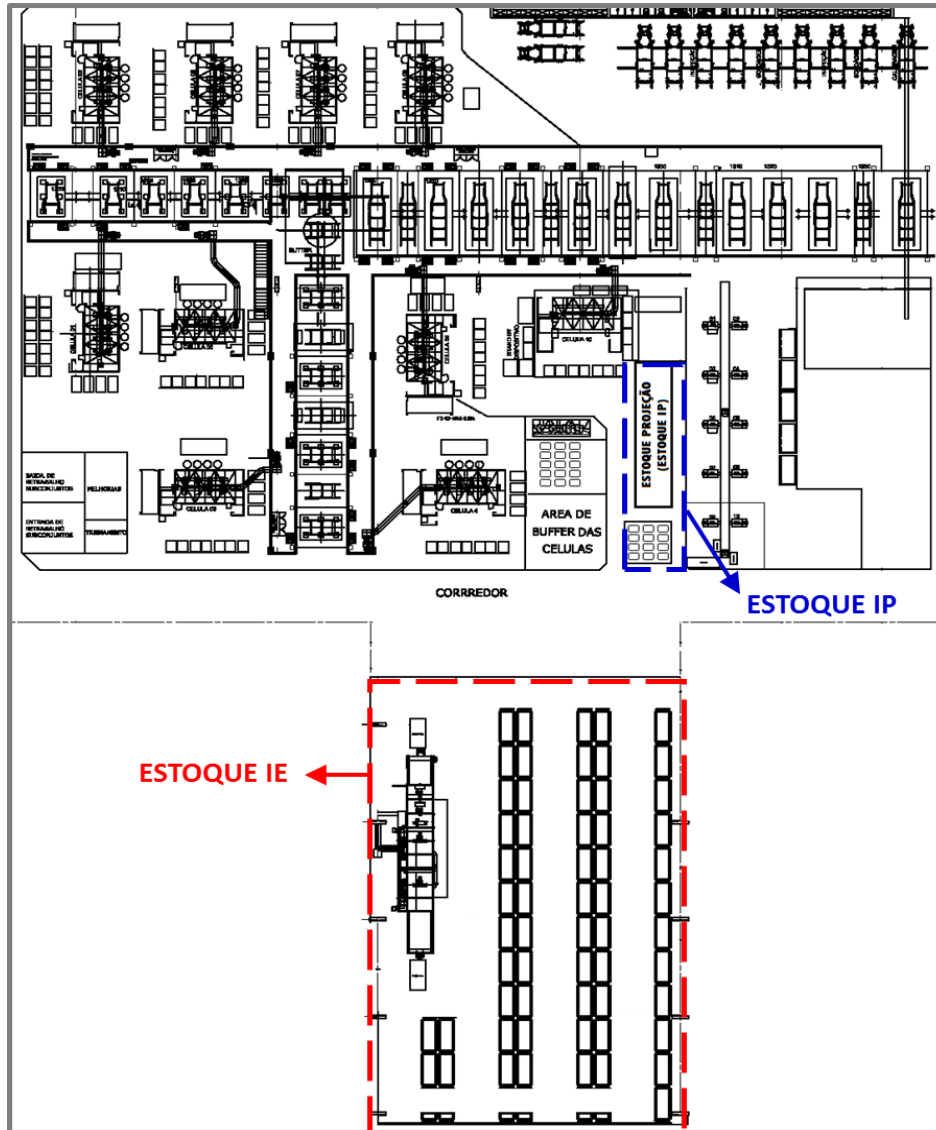
Com a crise da economia brasileira iniciada em 2014, que culminou na queda crônica dos volumes em 2015, a busca por eficiência operacional se tornou uma obsessão, e as ineficiências (desperdícios) presentes nas operações de abastecimento, escondidas pelo alto volume do passado, passaram a ser mais notadas.

3.2 O SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE COMPONENTES

Todos os processos de manufatura da linha de montagem de chassis, incluindo os processos intermediários e as pré-montagens, são abastecidos por componentes provenientes de dois processos (ou áreas): Itens provenientes do estoque de componentes principal, denominado Estoque IE (vide Figura 13), e itens provenientes do estoque das células de solda a projeção, denominado Estoque IP (vide Figura 12).

A Figura 14 apresenta novamente os dois estoques e sua disposição em relação a linha de montagem como um todo.

Figura 14 - Estoques de componentes IE e IP



Fonte: Autor

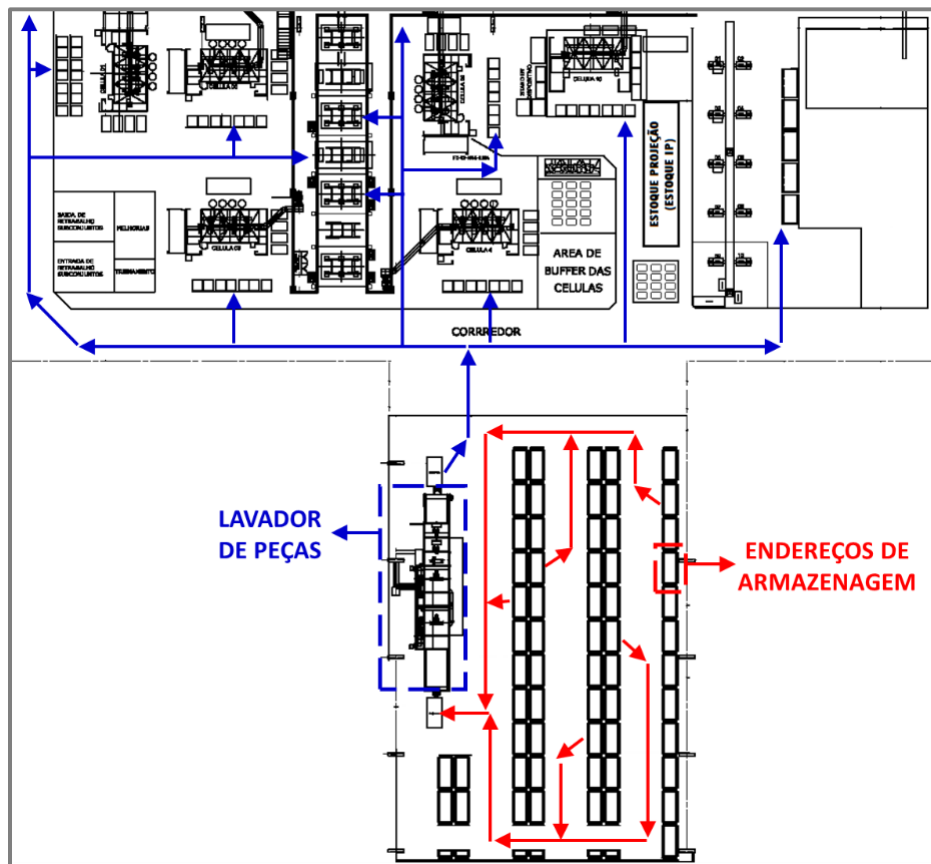
Apesar desses dois estoques fornecerem itens para toda a linha, eles possuem características peculiares de cada um.

O estoque de componentes denominado estoque IE, em destaque na cor vermelha na Figura 14, é o local onde são armazenados todos os componentes que fazem parte da estrutura dos chassis, e de onde os mesmos são disponibilizados para uso em todas as etapas e processos da linha de montagem, incluindo os processos intermediários de obtenção de peças.

Todos os componentes armazenados nesse estoque passam pelo processo de lavagem no lavador de peças (vide Figura 13) antes de serem enviados para uso. Essa etapa é necessária para retirada de resíduos oleosos existentes nos mesmos, provenientes dos processos anteriores de fabricação, que são prejudiciais aos processos subsequentes de montagem e soldagem. Apesar do óleo ser considerado um resíduo para o processo de montagem, ele é importante para os componentes, pois cria uma camada de proteção evitando que os mesmos oxidem, protegendo-os durante o período de armazenagem.

A Figura 15 ilustra de maneira sucinta o funcionamento desse processo: os componentes são retirados de seus endereços de armazenagem no estoque IE (setas em vermelho) e são enviados para o lavador de peças. Após o processo de lavagem eles são colocados em carros de transporte para serem destinados aos locais de utilização (setas em azul) dispostos ao longo de todos os processos da linha de montagem. Esse processo se repete ao longo de todo o dia de trabalho.

Figura 15 - Demonstração do processo de abastecimento dos itens IE



Fonte: Autor

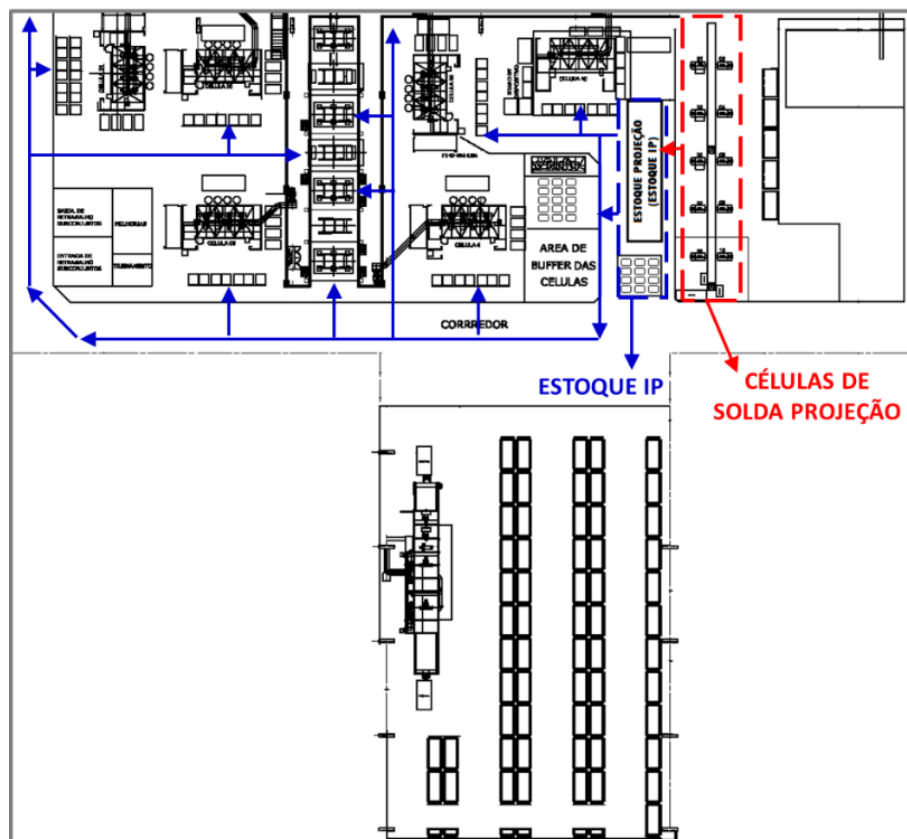
O estoque de componentes denominado estoque IP, em destaque na cor azul na Figura 14, é o local onde são armazenados todos os componentes resultantes do processo de solda dos elementos de fixação (porcas). Ele é responsável por abastecer os dois processos de montagem e solda subsequentes: as células de solda de subconjuntos e a linha de montagem.

Todos os componentes armazenados nesse estoque passam pelo processo de soldagem dos elementos de fixação realizado nas células de solda a projeção, em destaque na cor vermelha na Figura 16, também denominada solda por resistência.

Nesse caso, os componentes não passam por nenhum processo de lavagem e/ou limpeza antes do uso nos processos seguintes. Vale ressaltar que os mesmos já foram previamente lavados antes de processados nas células de solda a projeção, uma vez que são originários do processo de abastecimento do estoque IE descrito anteriormente.

A Figura 16 ilustra o funcionamento desse processo: os componentes são retirados de seus endereços de armazenagem no estoque IP (setas em azul) e colocados em carros de transporte para serem destinados aos locais de utilização dispostos ao longo de todos os processos de montagem e soldagem da linha. Esse processo também ocorre repetidamente ao longo de todo o dia de trabalho.

Figura 16 - Demonstração do processo de abastecimento dos itens IP



Fonte: Autor

3.2.1 Diagnóstico da Situação Atual

O diagnóstico da situação atual foi dividido em três etapas, sendo a primeira delas realizada através da observação e acompanhamento do processo de abastecimento pelo pesquisador. Para realização dessa etapa foi elaborado um formulário de diagnóstico (vide Apêndice A), que relacionava os tipos de operação e as etapas do processo, aos oito tipos possíveis de desperdícios preconizados pela Manufatura Enxuta.

A segunda etapa foi realizada através de entrevistas, tanto com os colaboradores de diferentes funções do processo de abastecimento, quanto às lideranças da linha de produção, onde os mesmos relatavam as opiniões sobre o que funcionava, o que não funcionava e quais sugestões eles teriam para melhorar esses processos. Nessa etapa também foi utilizado um formulário de auxílio (vide Apêndice B) para registro dessas observações.

A terceira e última etapa foi realizada através do teste de um ciclo de abastecimento para tomada de tempos.

Durante as duas primeiras etapas de diagnóstico foram claramente identificadas as divisões de operações macro dos dois processos de abastecimento, que juntamente com as informações levantadas no formulário de diagnóstico (Apêndice A), originaram a Tabela 1, que apresenta um resumo do levantamento de dados feito nessas etapas.

Tabela 1 - Resumo das Ocorrências de Desperdícios por Operações

DESPERDÍCIOS	OPERAÇÕES ESTOQUE IE								OPERAÇÕES ESTOQUE IP					OCORRÊNCIAS
	PEGAR CARRO VAZIO	DESLOCAR ESTOQUE IE	PEGAR PEÇAS IE	DESLOCAR LAVADOR	ESPERA LAVADOR	LAVAR PEÇAS IE	DESLOCAR CÉLULA ALVO	DISPOR PEÇAS IE	PEGAR CARRO VAZIO	DESLOCAR ESTOQUE IP	PEGAR PEÇAS IP	DESLOCAR CÉLULA ALVO	DISPOR PEÇAS IP	
SUPERPRODUÇÃO			X			X		X			X		X	5
ESTOQUE								X					X	2
PROCESSOS DESNECESSÁRIOS	X	X	X		X		X	X	X	X	X	X	X	11
DEFEITOS / RETRABALHOS								X					X	2
TRANSPORTE	X	X	X	X			X		X	X	X	X		9
MOVIMENTO	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	12
ESPERA					X									1
CONHECIMENTO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	13
OCORRÊNCIAS	4	4	5	3	3	3	4	6	4	4	5	4	6	

Fonte: Autor

Através das informações da Tabela 1, em conjunto com as observações levantadas tanto pelo pesquisador, quanto pelas informações e comentários advindos das entrevistas com os colaboradores, foi elaborado o diagnóstico do processo de abastecimento, referenciado por cada tipo de desperdício, ordenando-os pelas maiores ocorrências:

- 1) Desperdício de Conhecimento – esse desperdício foi claramente notado em todas as operações uma vez que vários dos incômodos do processo foram citados nas entrevistas com as pessoas envolvidas nas atividades de abastecimento e muitas das ideias de como melhorá-los também. Todo esse conhecimento adquirido durante o período de existência desse processo não era utilizado em benefício do mesmo para aplicação de mudanças que causariam melhorias. O processo era simplesmente seguido, mesmo que isso causasse um desempenho abaixo do esperado, e/ou incômodo para o operador.
- 2) Desperdício de Movimento – esse foi o desperdício mais contundente da análise do processo devido ao método de abastecimento e transporte de componentes utilizado, baseado em carros de transporte de tamanhos e capacidades variadas. Para cada item ou itens selecionados para abastecimento (dependendo do tamanho do carro de transporte usado) são feitos vários movimentos de colocação e retirada de peças dos carros de transporte para praticamente cada uma das operações do processo. Esses movimentos são realizados por todos os operadores de abastecimento durante todo o período produtivo.
- 3) Desperdício de Processos Desnecessários – ocorre uma repetição contínua de manuseio de peças entre diferentes processos e embalagens devido ao tipo de abastecimento, conforme citado no tópico anterior. Além disso, pode-se incluir como processos desnecessários os inúmeros deslocamentos entre estoque e postos de trabalho da linha de montagem feitos pelos abastecedores, causados pelo tipo de carro de transporte definido para o processo, onde para cada ciclo poucos itens são abastecidos. Os abastecedores chegam a fazer até trinta ciclos para completar o giro de abastecimento de uma única célula de solda. Nesse momento os ciclos se iniciam novamente, pois as primeiras peças disponibilizadas já foram consumidas, tendo de ser repostas.

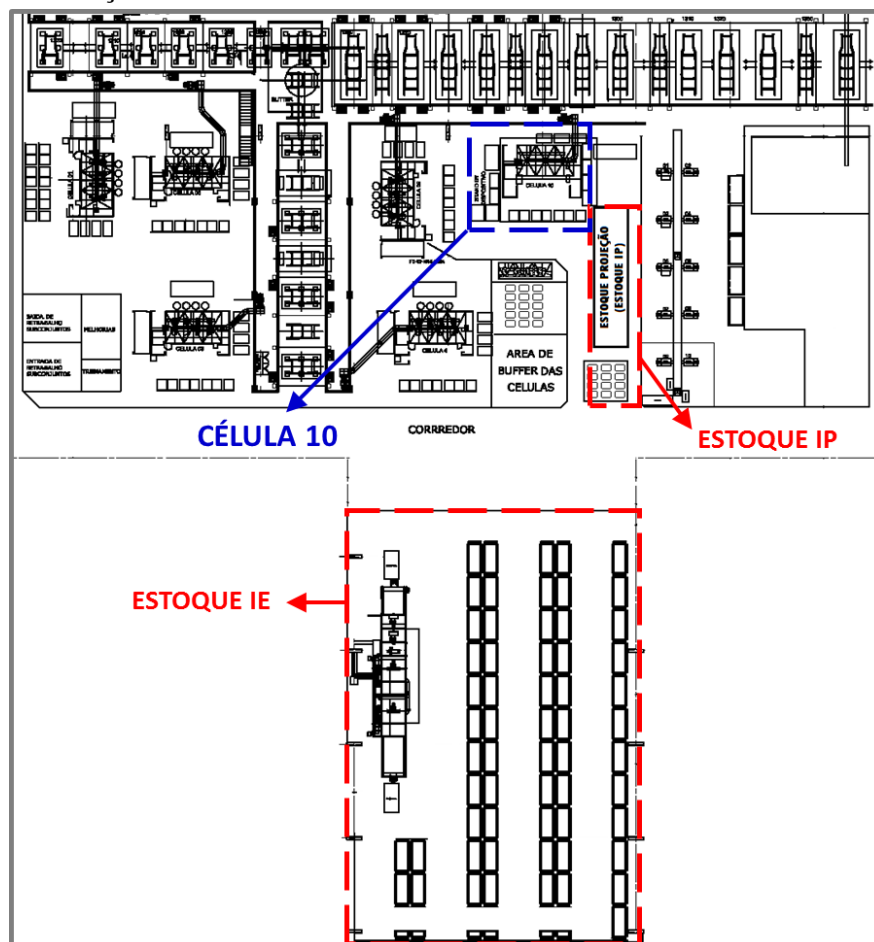
- 4) Desperdício de Transporte – devido a maneira que é realizado o abastecimento (citado anteriormente), pode-se considerar um desperdício de transporte o deslocamento contínuo dos abastecedores para as repetições de cada ciclo de abastecimento. O fato do processo se repetir várias vezes para uma única célula também reforça a identificação desse tipo de desperdício, uma vez que o abastecedor retorna inúmeras vezes para a mesma célula cada vez com um item ou itens diferentes até que todos estejam disponibilizados para uso.
- 5) Desperdício de Superprodução – como não existe uma definição para a quantidade de peças a serem disponibilizadas nas células, os operadores colocam a maior quantidade de peças possíveis nos carros de transporte para realização do processo de lavagem e abastecimento. O fato de existirem carros de transporte de tamanhos variados também colabora para que o abastecedor não siga uma regra para as quantidades a serem disponibilizadas nos processos de montagem e solda. Com isso, há um excesso de peças lavadas e disponibilizadas para a linha de produção, muitas vezes de maneira desbalanceada.
- 6) Desperdício de Estoque – uma vez que há a superprodução, ou seja, o excesso de componentes disponibilizados para uso na linha de montagem, ocorre a necessidade de utilização de uma área maior do que seria necessária colocação de itens, e conseqüentemente uma quantidade desnecessária de estoques intermediários (WIP – *Work in Process*). Em muitas vezes, o excesso de peças disponibilizadas causa transtornos aos operadores dos processos seguintes.
- 7) Desperdício de Retrabalho – esse desperdício é causado devido ao excesso de estoque intermediário (superprodução), no caso, a disponibilização de mais peças do que o necessário para os processos de montagem. Isso faz com que elas permaneçam por mais tempo nos contentores e prateleiras das células, não sendo utilizadas no tempo correto após estarem lavadas. Devido a isso elas acabam oxidando e com isso, precisam passar por um processo de decapagem (retrabalho) para eliminar os focos de oxidação. A maneira como as peças são disponibilizadas nos contentores ao longo dos processos de montagem e solda das células também ajuda a causar esse problema, uma vez que peças advindas do abastecimento são colocadas sobre as pré-existentes nos contentores, originárias de abastecimentos anteriores.

- 8) Desperdício de Espera – ele ocorre na entrada do lavador de peças. Como não existe uma regra definida para abastecimento e lavagem de peças, é comum que os abastecedores se encontrem com os carros de transporte na entrada do lavador, formando uma fila de espera para a operação de lavagem das peças. O tamanho da fila varia no decorrer dos trabalhos diários fazendo com que os abastecedores fiquem ociosos esperando a sua vez para colocar as peças no lavador.

A terceira etapa foi realizada com o objetivo de utilizar o seu resultado como base de comparação com os diferentes métodos de abastecimento propostos na seção 3.4. Para isso, foi realizado um teste do ciclo de abastecimento com a tomada do tempo total do processo, feita etapa por etapa, desde a coleta dos componentes nos estoques até a disposição dos mesmos para uso nas prateleiras de componentes de uma célula de subconjuntos.

O objeto de estudo desse teste em questão foi a célula de subconjuntos soldados denominada Célula N°10, mostrada na Figura 17.

Figura 17 - Localização da célula N°10



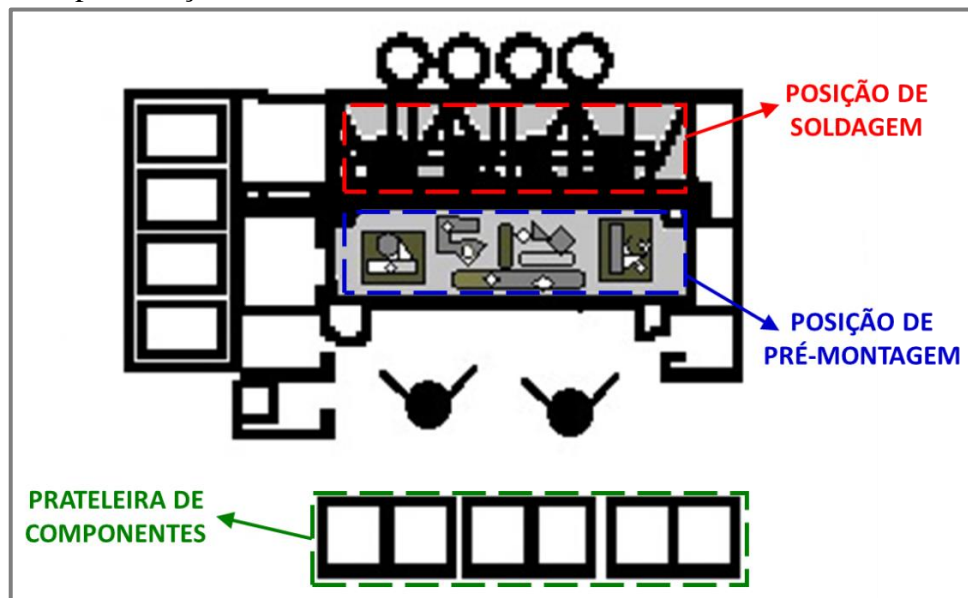
Fonte: Autor

Essa célula foi escolhida devido a sua proximidade aos estoques IE e IP (vide Figura 17), que facilitava a coleta de dados e tornava os testes mais rápidos, e também pelo fato do processo de abastecimento da mesma ser comum as demais células de subconjuntos soldados. Outro motivo que levou a escolha dessa célula é que a mesma é a única que possui *setup* de modelos (picape e/ou *SUV*), e com isso, pode-se fazer os diferentes testes de abastecimento sem que os mesmos afetassem a produção diária.

A célula N°10 é constituída de duas mesas de solda denominadas mesa A e mesa B, que funcionam de maneira intermitente, onde cada uma delas utiliza uma quantidade específica de componentes para montagem dos diferentes subconjuntos soldados resultantes de seu processo. Enquanto uma delas está na posição de soldagem, a outra está na posição de pré-montagem (ou alimentação), onde os componentes utilizados estão dispostos nas prateleiras localizadas em frente a célula.

A Figura 18 mostra uma representação da célula N°10, que também serve de representação para todas as outras células de solda de subconjuntos existentes na linha de montagem estudada.

Figura 18 - Representação da célula N°10



Fonte: Autor

A configuração escolhida para o teste foi a dos modelos *SUV*, onde a mesa A utiliza 16 itens diferentes, enquanto a mesa B utiliza 18 itens diferentes. Alguns dos itens são usados em mais de uma combinação resultando em subconjuntos diferentes. No total esses 34 itens correspondem a sete subconjuntos, sendo cinco da mesa A e dois da mesa B.

Para evitar erros na tomada de dados e conseqüentemente nas análises, foi definido que os diferentes métodos de teste propostos partiriam com a célula vazia, ou seja, comparando efetivamente quanto tempo cada método demoraria para abastecer a célula com todos os componentes necessários para o funcionamento da mesma. Dessa forma, tem-se a mesma partida inicial, podendo-se comparar o tempo total de cada tipo de processo de abastecimento proposto.

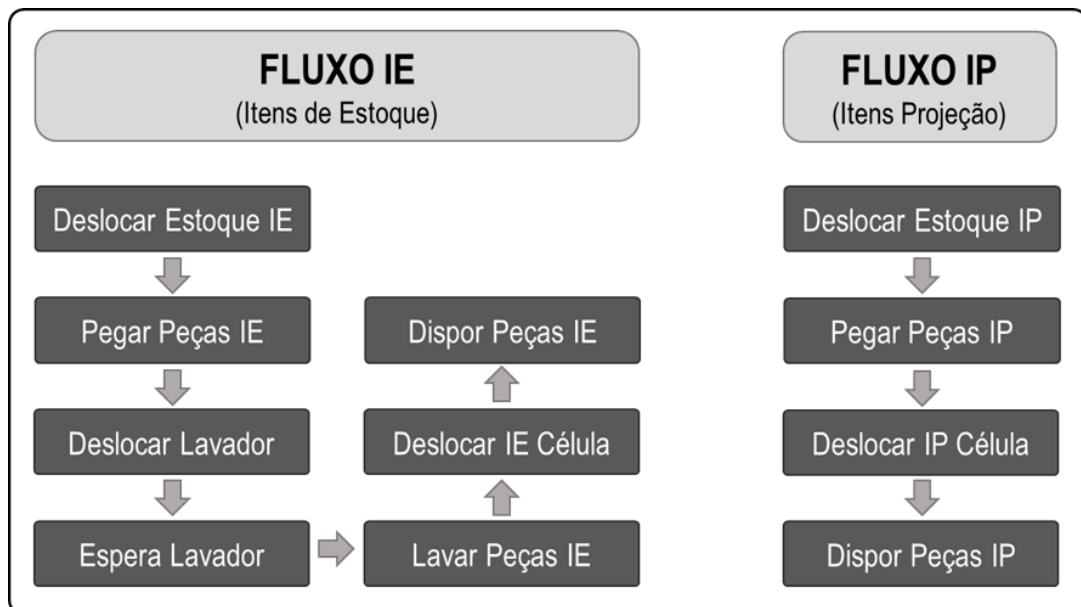
As denominações listadas a seguir serão usadas para identificar as operações de cada um dos fluxos de abastecimento dos testes comparativos e foram baseadas nas operações macro identificadas no processo de diagnóstico do processo atual:

- Deslocar Estoque IE: é o tempo de deslocamento do ponto inicial (local onde ficam os carros de abastecimento vazios) até o estoque de peças (itens IE).
- Pegar Peças IE: é o tempo necessário para pegar as peças que serão levadas ao lavador, incluindo o tempo de deslocamento entre os endereços de armazenagem das diferentes peças que compõe as rodadas de lavagem e abastecimento.
- Deslocar Lavador: é o tempo de deslocamento entre o estoque de peças e o lavador de peças (itens IE).
- Espera Lavador: é o tempo de espera na fila do lavador de peças.
- Lavar Peças IE: é o tempo necessário para lavar os itens do estoque (itens IE). Esse tempo inclui o tempo de colocação das peças na esteira na entrada do lavador, o tempo de lavagem em si, e o tempo de retirada das peças da esteira na saída do lavador.
- Deslocar IE Célula: é o tempo de deslocamento do lavador de peças (itens IE) até a célula de solda destino.
- Dispor Peças IE: é o tempo para retirada das peças (itens IE) do carro de abastecimento e colocação das mesmas na prateleira de peças da célula destino.
- Deslocar Estoque IP: é o tempo de deslocamento até o estoque de itens provenientes das células de solda a projeção (Estoque IP).
- Pegar Peças IP: é o tempo necessário para pegar as peças que estão no estoque de itens das células de projeção (Estoque IP) e colocá-las no carro de transporte, incluindo o tempo de deslocamento entre os endereços de armazenagem das diferentes peças que compõe as rodadas de abastecimento.

- Deslocar IP Célula: é o tempo de deslocamento do Estoque IP até a célula de solda destino.
- Dispor Peças IP: é o tempo para retirada das peças (itens IP) do carro de abastecimento e colocação das mesmas na prateleira de peças da célula destino.

O ciclo de abastecimento atual é composto por dois tipos de fluxos separados: o fluxo de abastecimento dos itens provenientes do estoque IE e o fluxo de abastecimento dos itens provenientes do estoque IP, conforme anteriormente explicados na seção 3.2, e exemplificados pela Figura 19.

Figura 19 - Fluxos de abastecimento atuais



Fonte: Autor

O teste consistiu da tomada de tempo de todas as rodadas de abastecimento necessárias para disponibilizar todos os componentes usados nas mesas A e B da célula N° 10, para os dois fluxos distintos que fazem parte desse ciclo.

Basicamente para cada componente a ser disponibilizado para célula temos um dos dois fluxos mostrados na Figura 19. Em alguns casos são coletados dois ou três tipos de componentes distintos (dependente do tamanho dos mesmos) em uma rodada de abastecimento.

Esse teste foi realizado sem nenhuma modificação no processo vigente de abastecimento, ou seja, repetindo-se a maneira o qual ele era realizado regularmente, com todos os desperdícios identificados no diagnóstico preliminar.

A Tabela 2 apresenta os resultados das somas dos tempos de cada rodada de abastecimento relativas a cada operação, sendo que no final temos o tempo total do ciclo.

Tabela 2 - Resultados do teste do sistema de abastecimento atual

Ciclo	Mesa	Quantidade de Itens	Quantidade de Peças	Deslocar Estoque IE	Pegar Peças IE	Deslocar Lavador	Espera Lavador	Lavar Peças IE	Deslocar IE Célula	Disponer Peças IE	Deslocar Estoque IP	Pegar Peças IP	Deslocar IP Célula	Disponer Peças IP	Tempo Total (seg)	Tempo Total (min)	Total Ciclo (min)
Atual	A	16	570	627	991	818	2025	2508	913	867	38	114	14	102	9017	150	326
	B	18	690	706	1164	944	2239	2938	1147	1020	42	162	17	153	10532	176	

Fonte: Autor

Nota-se que a quantidade de peças coletada girava em torno de trinta peças de cada componente das mesas A e B. Como alguns deles são usados em mais de uma montagem, a quantidade final coletada de cada um deles foi de 570 peças para a mesa A e de 690 peças para a mesa B. Ao final do processo de abastecimento de cada mesa, foram consumidos respectivamente 150 e 176 minutos, totalizando um ciclo de 326 minutos para abastecimento completo de todos os componentes.

3.3 PROPOSTA DE SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE COMPONENTES

Para a redução dos desperdícios apresentados na seção 3.2.1, este trabalho de pesquisa propõe o uso integrado da Manufatura Enxuta e da Teoria das Restrições. Para melhor evidenciar esta integração, a proposta de sistema de abastecimento foi desenvolvida de forma evolutiva, padronizando a quantidade de peças para o sistema de abastecimento de componentes atual servir de base de comparação para os demais testes.

Além desse motivo, esse teste serviu para aplicação de uma melhoria relativa ao desperdício de superprodução detectado no diagnóstico da situação atual (seção 3.2.1).

O passo seguinte foi desenvolver a proposta a partir da Manufatura Enxuta e então integrar a Teoria das Restrições à proposta.

3.3.1 Sistema de abastecimento atual com quantidade de peças padrão

Para a proposta de padronização da quantidade de peças do sistema de abastecimento atual, foi utilizada a mesma lógica de teste apresentada na seção 3.2.1, porém como o veículo SUV tem uma demanda menor do que a modelo picape, em que são montados 15 veículos por dia, tem-se que a necessidade diária é de 15 kits de peças, ante aos cerca de 30 kits de peças preparados no abastecimento regular, o qual não possuía padronização das quantidades.

Com isso, definiu-se a quantidade padrão em 15 kits de peças. Essa mudança reduziu o esforço para a realização do teste piloto da proposta. A Tabela 3 apresenta os resultados das somas dos tempos de cada rodada de abastecimento do sistema atual relativos a cada operação, com a padronização da quantidade de peças em 15 kits.

Tabela 3 - Resultados do teste do sistema de abastecimento atual padronizado

Ciclo	Mesa	Quantidade de Itens	Quantidade de Peças	Deslocar Estoque IE	Pegar Peças IE	Deslocar Lavador	Espera Lavador	Lavar Peças IE	Deslocar IE Célula	Disponibilizar Peças IE	Deslocar Estoque IP	Pegar Peças IP	Deslocar IP Célula	Disponibilizar Peças IP	Tempo Total (seg)	Tempo Total (min)	Total Ciclo (min)
	Padrão	A	16	285	635	617	811	2114	2257	930	485	40	59	15	57	8019	134
B		18	345	714	742	940	2256	2657	1135	656	41	89	16	77	9322	155	

Fonte: Autor

Nota-se nesse caso que com a definição de 15 kits para atendimento diário, a quantidade final de peças coletadas foi de 285 para a mesa A e de 345 para a mesa B, acarretando tempos totais de abastecimento de respectivamente 134 e 155 minutos, totalizando um ciclo de 289 minutos para abastecimento completo de todos os componentes.

Esse resultado evidencia que a eliminação da superprodução acarretou em uma diminuição de 11% do tempo total de abastecimento do ciclo de peças em relação ao sistema de abastecimento atual sem uma padronização da quantidade de peças.

Além disso, essa mudança é importante pois elimina outro desperdício evidenciado no diagnóstico (seção 3.2.1): o retrabalho. Uma vez que a quantidade de peças preparadas para serem utilizadas é a quantidade a ser consumida, sem excessos, não sobram peças nos contentores das células. Com isso, evita-se o processo de oxidação dos itens que foram lavados e permanecem por períodos excessivos nos contentores aguardando montagem.

3.3.2 Sistema de abastecimento baseado na Manufatura Enxuta

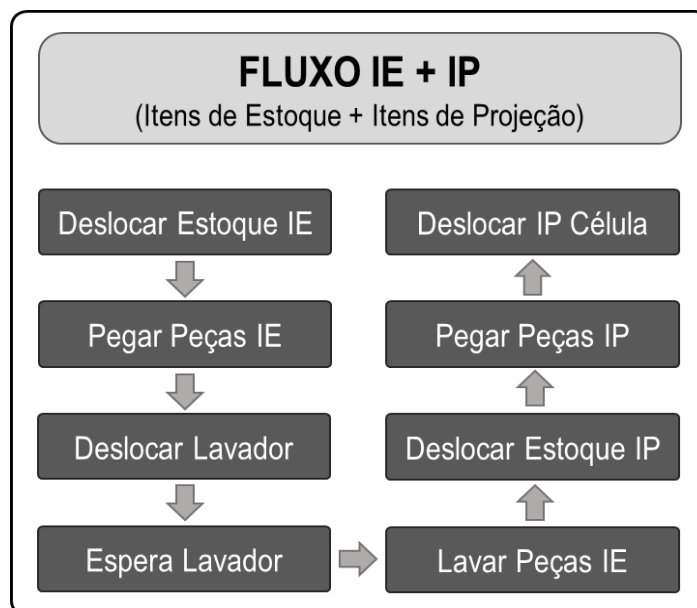
A proposta traz a aplicação de conceitos de redução de desperdícios relativos a movimentação, transporte e processos desnecessários, partindo da melhoria implantada na seção 3.3.1, ou seja, a padronização da quantidade de itens a serem abastecidos.

Conforme mostrado no diagnóstico do sistema de abastecimento atual (seção 3.2.1), o método de transporte e abastecimento vigente é baseado em carros de transporte individuais em que várias viagens são necessárias, gerando grande repetição de etapas e movimentos, além de inúmeros manuseios de itens entre carros de abastecimento e contentores da célula.

Partindo do princípio de eliminação dos desperdícios citados, foram construídos dois carros de transporte para respectivas acomodações dos itens relativos a mesa A e mesa B, que também servem de contentores para a célula, ou seja, o contentor da célula se movimenta para coleta dos itens. Assim, com apenas uma viagem aos estoques é possível coletar todos os itens necessários para o trabalho de montagem dos veículos *SUV*, a partir da quantidade padrão de 15 kits.

Essa mudança fez com que o fluxo de abastecimento se tornasse único, unindo os fluxos anteriores de maneira sequencial, conforme mostrado na Figura 20, não tendo mais dois fluxos distintos para itens do estoque IE e itens do estoque IP trabalhando repetidamente.

Figura 20 - Fluxo de abastecimento do Ciclo ME



Fonte: Autor

A Tabela 4 apresenta os resultados das somas dos tempos de cada rodada de abastecimento do sistema de abastecimento baseado na Manufatura Enxuta, relativos a cada operação.

Tabela 4 - Resultados do teste do sistema de abastecimento baseado na ME

Ciclo	Mesa	Quantidade de Itens	Quantidade de Peças	Deslocar Estoque IE	Pegar Peças IE	Deslocar Lavador	Espera Lavador	Lavar Peças IE	Deslocar IE Célula	Disponer Peças IE	Deslocar Estoque IP	Pegar Peças IP	Deslocar IP Célula	Disponer Peças IP	Tempo Total (seg)	Tempo Total (min)	Total Ciclo (min)
ME	A	16	285	97	642	137	628	1421	0	0	141	63	14	0	3427	57	120
	B	18	345	102	814	146	603	1513	0	0	143	88	16	0	3770	63	

Fonte: Autor

Nesse caso, tem-se uma diminuição significativa no tempo de deslocamento até o estoque IE, uma vez que apenas um deslocamento é necessário e, pelo mesmo motivo, tem-se uma diminuição do tempo de deslocamento até o lavador de peças.

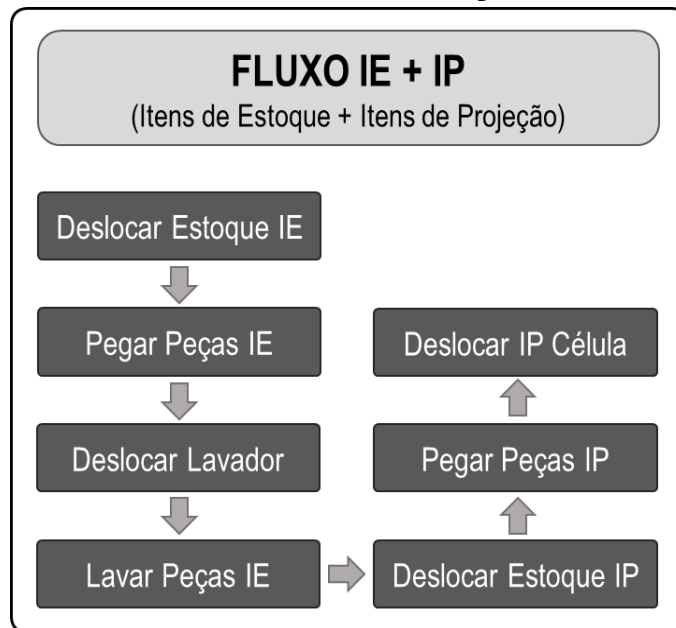
O tempo de lavagem das peças também foi reduzido e ocorreu devido ao fato de todas elas serem colocadas em sequência no lavador, com melhor aproveitamento da área útil da esteira de entrada do mesmo. Com isso lavam-se mais peças por ciclo, em um único tempo de lavagem contínuo, até a retirada de todos os itens para o carro de transporte.

Pode-se observar também a eliminação dos tempos de disposição de peças nos contentores da célula, uma vez que o próprio carro de transporte é o contentor.

Esse teste mostrou uma evidente diminuição dos tempos de ciclo para o abastecimento de cada mesa, respectivamente 57 e 63 minutos, com tempo total de 120 minutos. Isso representa uma diminuição de 63% do tempo de abastecimento se comparado ao sistema de abastecimento atual e de 58% se comparado ao sistema de abastecimento com quantidades padrão.

Após o teste piloto do sistema de abastecimento baseado na Manufatura Enxuta, foi constatada uma potencial melhoria no processo do lavador de peças, eliminando o desperdício do tempo de espera para a lavagem das peças, conforme mostrado na Figura 21.

Figura 21 - Fluxo de abastecimento do Ciclo ME Sem Espera



Fonte: Autor

Para esta melhoria o lavador foi preparado para estar disponível sem a fila de abastecedores, ou seja, sem filas de espera. Com isso, o abastecedor colocava as peças na esteira de abastecimento do lavador assim que chegava ao mesmo. A Tabela 5 apresenta os resultados dos tempos do sistema de abastecimento baseado na Manufatura Enxuta com a eliminação do tempo de espera para a lavagem de peças.

Tabela 5 - Resultados do teste do sistema de abastecimento baseado na ME sem espera

Ciclo	Mesa	Quantidade de Itens	Quantidade de Peças	Deslocar Estoque IE	Pegar Peças IE	Deslocar Lavador	Espera Lavador	Lavar Peças IE	Deslocar IE Célula	Disponibilizar Peças IE	Deslocar Estoque IP	Pegar Peças IP	Deslocar IP Célula	Disponibilizar Peças IP	Tempo Total (seg)	Tempo Total (min)	Total Ciclo (min)
ME Sem Espera	A	16	285	99	662	144	0	1390	0	0	147	60	16	0	2517	42	89
	B	18	345	103	794	139	0	1499	0	0	154	92	15	0	2796	47	

Fonte: Autor

Pode-se observar mais uma vez uma diminuição dos tempos de abastecimento, uma vez que houve a eliminação do tempo de espera. Com isso, o ciclo para o abastecimento de cada mesa foi de respectivamente 42 e 47 minutos, com tempo total de 89 minutos.

3.3.3 Sistema de abastecimento baseado na integração da Manufatura Enxuta e Teoria das Restrições

Nessa proposta foram aplicados os conceitos e ferramentas da Teoria das Restrições às melhorias já implementadas baseadas na Manufatura Enxuta, integrando-as.

Os sistemas de abastecimento apresentados nas seções 3.3.1 e 3.3.2 demonstraram que, apesar das modificações dos processos baseadas nos conceitos de Manufatura Enxuta terem conseguido resultados expressivos na diminuição do tempo de ciclo, ainda existia uma etapa do processo com um tempo de ciclo mais alto em relação às demais, ou seja, havia uma restrição (RRC), no caso, o lavador de peças, que limitava o desempenho de todo o processo.

De acordo com os conceitos da Teoria das Restrições, a restrição (RRC) deveria ser elevada para que fosse possível uma melhoria do desempenho, o que nesse caso específico significaria reduzir o tempo de ciclo dessa etapa do processo.

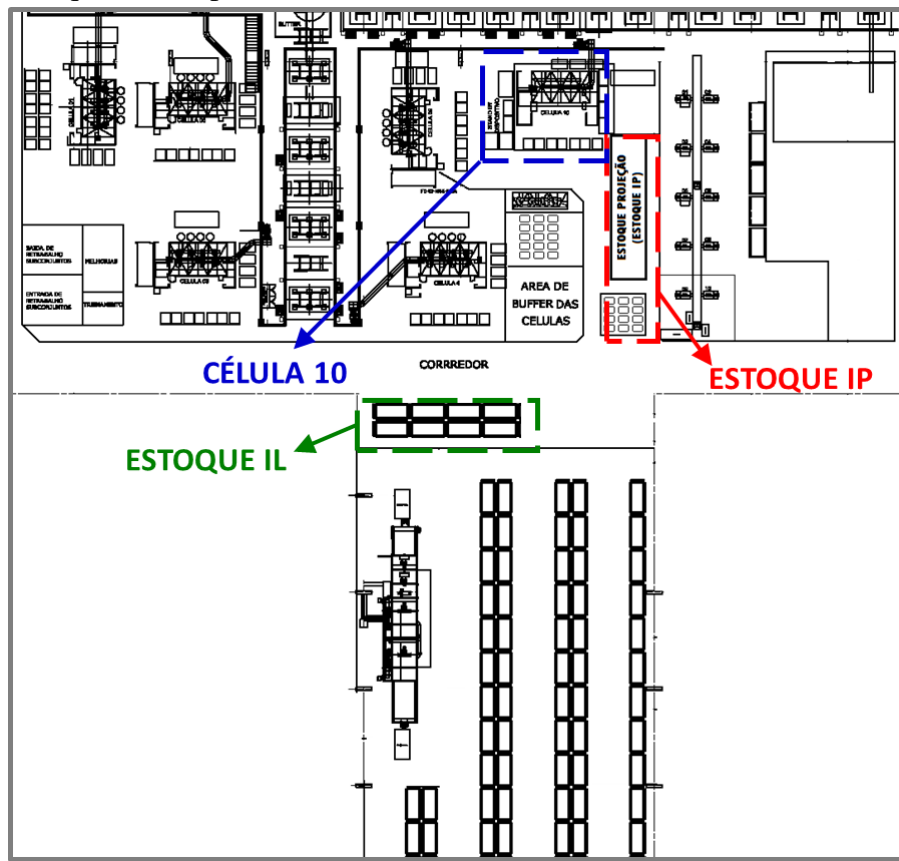
Porém, essa diminuição só seria possível se houvesse uma alteração do equipamento para tornar o processo mais rápido, uma vez que o mesmo operava em sua velocidade máxima, o que demandaria um período de tempo elevado para sua modificação e também um alto valor de investimento.

Através da aplicação das técnicas do Tambor-Pulmão-Corda (TPC) e do gerenciamento de pulmões (*Buffer Management* – BM), foi definida a implantação de um estoque intermediário, ou pulmão de tempo, constituído de componentes previamente lavados provenientes do estoque IE, para elevar a capacidade do sistema de abastecimento sem que houvesse a necessidade de modificações no mesmo.

Esse pulmão de tempo foi denominado Estoque IL e a implantação do mesmo permitiria ao abastecedor realizar a coleta dos itens previamente lavados sem aguardar pelo processo do lavador, que por sua vez continuaria a processar peças do estoque IE de maneira a manter tanto o fluxo de abastecimento, quanto o pulmão abastecido.

O estoque IL foi posicionado estrategicamente na área localizada entre o estoque IE e a linha de montagem, próximo a lavador de peças, conforme mostrado em destaque na cor verde na Figura 22.

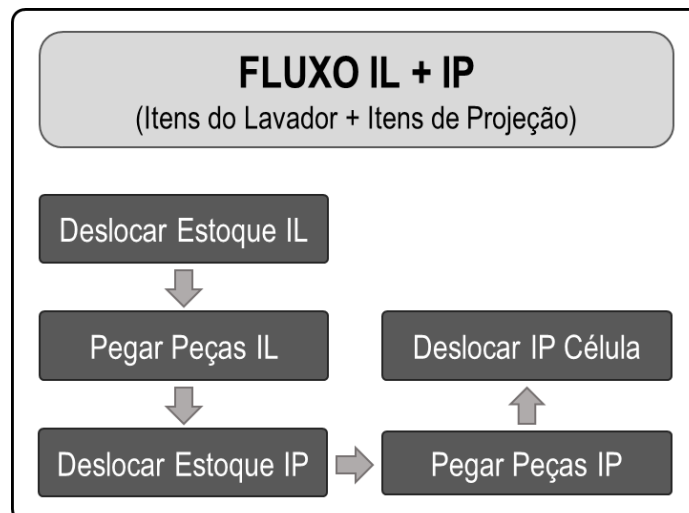
Figura 22 - Estoque de componentes IL



Fonte: Autor

Objetivando testar a eficácia da proposta de abastecimento baseada na integração da Manufatura Enxuta e Teoria das Restrições, foram previamente lavados todos os componentes necessários para uma rodada de abastecimento da célula de subconjuntos N°10, que seguiu o fluxo demonstrado na Figura 23.

Figura 23 - Fluxo de abastecimento do Ciclo ME + TOC



Fonte: Autor

Comparado com os dois sistemas de abastecimentos propostos na seção 3.3.1 e 3.3.2, tem-se duas novas operações macro:

- Deslocar Estoque IL: é o tempo de deslocamento da célula alvo até o estoque de peças lavadas (Estoque IL).
- Pegar Peças IL: é o tempo necessário para pegar as peças que estão no estoque de peças lavadas (Estoque IL) e colocá-las no carro de transporte, incluindo o tempo de deslocamento entre os endereços de armazenagem das diferentes peças que compõe a rodada de abastecimento.

A Tabela 6 apresenta os resultados dos tempos do sistema de abastecimento proposto, com a inclusão das duas novas operações macro citadas anteriormente.

Tabela 6 - Resultados do teste do sistema de abastecimento baseado na ME e TOC

Ciclo	Mesa	Quantidade de Itens	Quantidade de Peças	Deslocar Estoque IE	Pegar Peças IE	Deslocar Lavador	Espera Lavador	Lavar Peças IE	Deslocar IE Célula	Disponer Peças IE	Deslocar Estoque IL	Pegar Peças IL	Deslocar Estoque IP	Pegar Peças IP	Deslocar IP Célula	Disponer Peças IP	Tempo	Tempo	Total
																	Total (seg)	Total (min)	Ciclo (min)
ME	A	16	285	0	0	0	0	0	0	0	66	653	89	64	18	0	890	15	32
+ TOC	B	18	345	0	0	0	0	0	0	0	70	788	86	90	17	0	1051	18	

Fonte: Autor

Os resultados mostrados na Tabela 6 evidenciam mais uma vez uma diminuição dos tempos de abastecimento. Nesse caso, o ciclo de abastecimento de cada mesa foi de respectivamente 15 e 18 minutos, com tempo total de 32 minutos.

3.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Um resumo comparativo dos resultados do tempo de ciclo de todas as propostas de abastecimento testadas nas seções 3.3.1, 3.3.2 e 3.3.3, incluindo os resultados do diagnóstico apresentado na seção 3.2.1, é apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 - Resumo comparativo de todos os ciclos testados

Ciclo	Mesa	Quantidade de Itens	Quantidade de Peças	Deslocar Estoque IE	Pegar Peças IE	Deslocar Lavador	Espera Lavador	Lavar Peças IE	Deslocar IE Célula	Disponer Peças IE	Deslocar Estoque IL	Pegar Peças IL	Deslocar Estoque IP	Pegar Peças IP	Deslocar IP Célula	Disponer Peças IP	Tempo Total (seg)	Tempo Total (min)	Total Ciclo (min)	(%)	(%)
																				Redução x Atual	Redução x Padrão
Atual	A	16	570	627	991	818	2025	2508	913	867	0	0	38	114	14	102	9017	150	326	-----	-----
	B	18	690	706	1164	944	2239	2938	1147	1020	0	0	42	162	17	153	10532	176			
Padrão	A	16	285	635	617	811	2114	2257	930	485	0	0	40	59	15	57	8019	134	289	-11%	-----
	B	18	345	714	742	940	2256	2657	1135	656	0	0	41	89	16	77	9322	155			
ME	A	16	285	97	642	137	628	1421	0	0	0	0	141	63	14	0	3427	57	120	-63%	-58%
	B	18	345	102	814	146	603	1513	0	0	0	0	143	88	16	0	3770	63			
ME Sem Espera	A	16	285	99	662	144	0	1390	0	0	0	0	147	60	16	0	2517	42	89	-73%	-69%
	B	18	345	103	794	139	0	1499	0	0	0	0	154	92	15	0	2796	47			
ME + TOC	A	16	285	0	0	0	0	0	0	0	66	653	89	64	18	0	890	15	32	-90%	-89%
	B	18	345	0	0	0	0	0	0	0	70	788	86	90	17	0	1051	18			

Fonte: Autor

O Ciclo Atual foi resultado do diagnóstico inicial do sistema de abastecimento, a partir da definição de uma célula alvo para a implantação dos trabalhos de melhoria, que é a base de comparação para todos os demais ciclos resultantes das rodadas de melhorias realizadas.

O primeiro ciclo baseado nas práticas de Manufatura Enxuta foi o Ciclo Padrão, onde foi eliminado o desperdício de superprodução através da padronização da quantidade de peças abastecidas na célula, que contribuiu para um ganho de 11% no tempo de ciclo em relação ao Ciclo Atual e também contribuiu para eliminação dos desperdícios de estoque e de defeitos/retrabalhos (decorrentes da superprodução).

A segunda rodada de melhoria, denominada Ciclo ME, também é baseada nas práticas da Manufatura Enxuta, e propôs a eliminação dos desperdícios de movimentação, transporte, processos desnecessários, através da modificação e unificação dos carros de transporte e dos contentores da célula alvo. Essa mudança contribuiu para um ganho de 63% do tempo de ciclo em comparação ao Ciclo Atual e de 58% em comparação ao Ciclo Padrão.

A terceira rodada de melhoria, denominada Ciclo ME Sem Espera, propôs a eliminação do desperdício de espera, que ocorre no lavador de peças, o que contribuiu para uma redução do tempo de ciclo de 26% em comparação aos resultados obtidos pelo Ciclo ME, que corresponde a uma redução de 73% em relação ao Ciclo Atual e de 69% em relação ao Ciclo Padrão.

As três primeiras rodadas de melhoria apresentam evoluções do sistema de abastecimento atual através do emprego de práticas da Manufatura Enxuta. Esta evolução foi realizada de forma experimental, pois não é possível eliminar a fila do lavador de peças com o processo/ equipamento de lavagem disponível. Apesar de não ser possível sua implementação na prática, esse experimento foi importante para o trabalho, para a comparação dos resultados obtidos com a aplicação da ME e da TOC.

A quarta rodada de melhoria denominada Ciclo ME+TOC, agregou aos experimentos anteriores a técnica do Tambor-Pulmão-Corda (TPC) advinda da Teoria das Restrições. Nesse experimento foi adotado um pulmão de tempo após o processo do lavador, constituído de itens previamente lavados, que contribuía para o processo de abastecimento não depender mais do lavador (restrição). Uma vez que o processo de abastecimento não estava mais limitado pela restrição, obteve-se uma redução de 64% no tempo de ciclo em comparação ao Ciclo ME Sem Espera, que corresponde a uma redução de 90% em relação ao Ciclo Atual e de 89% em relação ao Ciclo Padrão.

Essas melhorias podem ser evidenciadas na Figura 24a, que mostra a área da célula alvo antes da aplicação do método proposto, e na Figura 24b, que evidencia as melhorias obtidas após a aplicação do método.

Figura 24a - Célula alvo antes dos trabalhos



Fonte: Autor

Figura 24b - Célula alvo após os trabalhos



Fonte: Autor

Vale ressaltar que a mudança do processo acarreta uma mudança grande no tempo de ciclo, mas não elimina o processo do estoque IE e do lavador de peças. Essas atividades continuam a alimentar os processos e também o pulmão de tempo utilizado no abastecimento da célula 10, objeto de estudo.

O ganho real da mudança permitiu que o abastecedor tivesse mais tempo para realização de outras atividades, ou outros abastecimentos, pois a atividade que antes levava cerca de 326 minutos para ser concluída, passou a ser feita em cerca de 32 minutos. Com isso, outras células podem ser abastecidas pelo mesmo abastecedor, liberando outros abastecedores para realização de atividades não relacionadas diretamente a abastecimento de linha.

Baseado nos resultados apresentados, foi possível verificar a influência positiva das técnicas de manufatura enxuta aplicadas a cada ciclo testado, de maneira crescente, a cada eliminação de desperdício implementada. Da mesma maneira foi verificada que a integração das técnicas da Teoria das Restrições, em conjunto com as técnicas da Manufatura Enxuta, contribuiu para um resultado melhor, ou seja, tem um maior potencial de melhoria do processo.

4 CONCLUSÕES

4.1 VERIFICAÇÃO DOS OBJETIVOS

O presente trabalho de pesquisa teve como objetivo principal propor um método de organização e gestão do sistema de abastecimento de componentes em uma célula de solda, baseado nos conceitos da Manufatura Enxuta e da Teoria das Restrições, e pode-se concluir que o mesmo obteve êxito no atendimento desse objetivo, conforme evidenciado na seção 3.

Desde a revisão da literatura (seção 2.3) o presente trabalho vem mostrando que a integração dos dois conceitos (ME+TOC) alavanca os resultados operacionais, corroborando com a aplicação prática apresentada nas seções 3.3 e 3.4.

Os resultados alcançados nos tempos de ciclo, após cada rodada de testes baseados nos conceitos de Manufatura Enxuta, mostraram a eficácia do método, uma vez que conseguiram reduções próximas a 70%, resultado esse alinhado ao estudo de Taj e Berro (2006), que concluiu que as empresas desperdiçam de 70% a 90% de seus recursos disponíveis.

Os tempos de ciclo baseados na integração de ambas teorias (ME+TOC) conseguiram uma redução maior (90%), em relação a aplicação apenas da Manufatura Enxuta, onde foi possível verificar que as ferramentas podem ser não só integradas, mas também podem potencializar os resultados, aumentando a efetividade do processo de melhoria contínua, conforme proposto por Hein (1999), e também apresentado por Siller, Sanchez e Onofre (2010), Kasemset (2011), Okimura (2013) e Santos e Alves (2015).

O método de trabalho apresentado na seção 3 não só acarretou na redução do tempo de ciclo de abastecimento, mas também obteve a redução do estoque de itens em processo (*WIP*), melhorando a organização do posto de trabalho e liberando espaço no setor fabril, conforme evidenciado na seção 3.4 (vide Figura 24a e Figura 24b). Consequentemente, o acesso à célula alvo foi facilitado, facilitando também o processo de abastecimento da mesma.

Isto posto, conclui-se que este trabalho também obteve êxito no atendimento dos objetivos específicos propostos, os quais eram a análise da integração dos conceitos da ME e da TOC para melhoria do sistema de abastecimento e a avaliação do impacto dessa aplicação tanto no abastecimento quanto na movimentação de materiais.

4.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização dos métodos tradicionais de avaliação da restrição, bem como a utilização do método de avaliação através do monitoramento dos tempos de ciclo proposto por Sims e Wan (2015), mostraram que a restrição (RRC) do processo de abastecimento, tal qual desenhado e utilizado na empresa, era o processo do lavador de peças.

Com isso, partiu-se para utilização do método Tambor-Pulmão-Corda para otimização do processo, com a inclusão dos pulmões de tempo necessários para proteger o processo de eventuais perdas devido à restrição e nessa etapa foi identificada uma primeira divergência da aplicação da teoria.

A aplicação do pulmão da restrição não teria efeito prático pois, se o lavador possuía uma fila de carros de abastecimento esperando para terem as suas peças lavadas, não seria necessário um pulmão para “proteger” a restrição de trabalhar abaixo da sua capacidade máxima.

Dessa forma, foi decidida a utilização de um pulmão de espaço (*Space Buffer*), que de acordo com as definições do dicionário TOCICO (COX et al., 2012), é o espaço localizado imediatamente após a restrição para acomodação dos itens provenientes da mesma.

A utilização desse pulmão funcionou como uma proteção ao processo de abastecimento dos novos carros de transporte da célula alvo e resultou na otimização do ganho do tempo de ciclo mostrada nas seções 3.3 e 3.4, uma vez que o abastecedor não dependia mais da espera do lavador. O processo se mostrou eficaz do ponto de vista operacional e resultou em uma redução de 90% do tempo de ciclo de abastecimento.

Porém, essa decisão gerou um conflito entre a teoria e a prática aplicada. Se o lavador era a restrição, não haveria a necessidade da utilização de um pulmão de espaço (*Space Buffer*), uma vez que a capacidade de processamento dessa etapa do processo é menor do que o restante da cadeia, em regime de trabalho regular (sem interrupções).

Esse fato levou a conclusão de que apesar do resultado positivo da aplicação, existia alguma variável que não havia sido evidenciada, a qual causava a divergência entre teoria e prática. Assim, baseado no método proposto por Pretorius (2014), utilizou-se o mapa de tomada de decisões, concluindo que a restrição estudada nesse trabalho não era uma restrição física, mas sim uma restrição não-física, no caso, o método de trabalho definido.

Por definição, quando uma restrição não-física é encontrada, deve-se modificar os conceitos e comportamentos utilizados, o que torna esse passo uma definição estratégica sobre o que fazer (PRETORIUS, 2014). Com isso conclui-se que o pulmão de espaço é realmente

necessário para acomodar as peças do lavador, uma vez que ele possui capacidade de processamento, em volume de peças por hora, maior do que o consumo da célula alvo. O que o levava a ser a restrição era o método, ou o sistema de abastecimento vigente até então.

Dessa forma, conclui-se que a restrição física foi causada pela restrição não-física, ou seja, o conceito/método de trabalho utilizado para o abastecimento fazia com que o lavador se tornasse a restrição (RRC), mesmo com capacidade de processamento maior do que os demais processos da cadeia. Isso também mostra que o método proposto por Pretorius pode ser considerado realmente uma evolução da abordagem tradicional da TOC.

Nesse caso, pode-se concluir que podem existir mais casos reais onde a restrição física está evidente, porém causada por um método não eficiente de trabalho, e que se os mesmos fossem reavaliados pelo mapa de tomada de decisões, talvez se chegasse à conclusão que métodos de trabalho podem estar influenciando a identificação das restrições.

De qualquer maneira, mesmo concluindo que a restrição até então evidenciada não era a real restrição do sistema, foi possível evidenciar que mesmo assim a TOC se mostrou uma ferramenta poderosa, especialmente se integrada aos conceitos de eliminação de desperdícios da ME.

Outro ponto a ser considerado é que antes da aplicação dos conceitos da Teoria das Restrições, acreditava-se que a necessidade de mudança do processo (equipamento) seria necessária para ampliar a capacidade do processo do lavador (RRC).

Casos onde os custos de mudanças são altos, levando-se em consideração apenas a utilização dos métodos da ME (eliminar todo e qualquer desperdício), mostram que o uso dos conceitos da TOC ajudam a melhorar o resultado, sem propriamente haver a necessidade de realizar modificações de elevado custo, conforme também concluído por Ramos e Tenera (2009).

4.3 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

De acordo com o exposto na seção 4.2, recomenda-se a realização de um estudo mais completo da interação entre restrições não-físicas que podem levar a existência de restrições físicas “não reais”.

Em relação à aplicação realizada, recomenda-se a utilização do método proposto nas demais células de solda de conjuntos existentes na linha de montagem, bem como o desdobramento de um novo estudo referente ao processo de abastecimento entre as etapas de coleta de itens no estoque IE e o lavador de peças.

Apesar do resultado obtido, também é recomendado um estudo no ciclo resultante da integração da manufatura enxuta e da teoria das restrições (Ciclo ME+TOC), pois mesmo com a redução do tempo conseguida pela proposta, pode-se observar que a nova operação inserida no processo (Pegar Peças IL) é a que apresenta o maior tempo de processamento, conforme evidenciado na Tabela 7 (seção 3.4).

Logo, há uma oportunidade de melhoria de processo a ser desenvolvida, o que mais uma vez prova a consistência dos métodos utilizados com as referências teóricas, pois, ao eliminarmos uma restrição, uma nova restrição foi detectada, ou seja, o ciclo de melhoria contínua, tanto da ME, quanto da TOC, pode ser reiniciado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, J.; ROBINSON, C.; STEWART, D. **Lean Manufacturing: A Plant Floor Guide**. Dearborn, MI: Society of Manufacturing Engineers, 2001. 495 p.
- ÁLVAREZ, R. et al. Redesigning an assembly line through lean manufacturing tools. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 43, n. 9-10, p. 949-958, 2009.
- AGGARWAL, S. C.; AGGARWAL, S. The management of manufacturing operations: an appraisal of recent developments. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 5, n. 3, p. 21-38, 1985.
- BLACKSTONE, J. H. Theory of constraints - a status report. **International Journal of Production Research**, v. 39, n. 6, p. 1053-1080, 2001.
- BOYD, L.; GUPTA, M. Constraints management: what is the theory?. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 24, n. 4, p. 350-371, 2004.
- CORBETT, T.; CSILLAG, J. M. Analysis of the effects of seven drum-buffer-rope implementations. **Production and Inventory Management Journal**, v. 42, n. 3/4, p. 17-23, 2001.
- COUGHLAN, P.; COUGHLAN, D. Action research for operations management. **International journal of operations & production management**, v. 22, n. 2, p. 220-240, 2002.
- COX III, J. F. et al. **The Theory of Constraints International Certification Organization Dictionary**, 2nd ed., 2012. 135 p.
- COX, J. F.; SPENCER, M. S. **The Constraints Management Handbook**. Boca Raton, FL: CRC Press, 1997. 352 p.
- DAVIES, J.; MABIN, V. J.; BALDERSTONE, S. J. The theory of constraints: a methodology apart? - a comparison with selected OR/MS methodologies. **Omega**, v. 33, n. 6, p. 506-524, 2005.
- DEMCHUK, L.; BAIT SAR, R. Integrated Use of TOC, Lean And Six Sigma In Quality Assurance Of Manufacturing Processes. In: **11th International Symposium on Measurement and Quality Control 2013**, September 11-13, Cracow-Kielce, Poland, 2013.
- DEMETER, K.; MATYUSZ, Z. The impact of lean practices on inventory turnover. **International journal of production economics**, v. 133, n. 1, p. 154-163, 2011.
- DEMMY, W. S.; DEMMY, B. S. Drum-buffer-rope scheduling and pictures for the yearbook. **Production and Inventory Management Journal**, v. 35, n. 3, p. 45-47, 1994.
- DETTMER, H. W. **Goldratt's Theory of Constraints: a systems approach to continuous improvement**, Milwaukee, WI: ASQ Quality Press, 1997. 378 p.

DOMINGO, R. et al. Materials flow improvement in a lean assembly line: a case study. **Assembly Automation**, v. 27, n. 2, p. 141-147, 2007.

FINNSGÅRD, C. et al. Impact of materials exposure on assembly workstation performance. **International Journal of Production Research**, v. 49, n. 24, p. 7253-7274, 2011.

FRY, T. D.; KARWAN K. R.; STEELE, D. C. Implementing drum-buffer-rope to control manufacturing lead time. **The International Journal of Logistics Management**, v. 2, n. 1, p. 12-18, 1991.

GELDERS, L. F.; VAN WASSENHOVE, L. N. Capacity planning in MRP, JIT and OPT: a critique. **Engineering Costs and Production Economics**, v. 9, n. 1, p. 201-209, 1985.

GOLDRATT, E. M.; COX, J. **The Goal: A Process of Ongoing Improvement**. Croton-on-Hudson, NY: North River Press, 1984. 384 p.

GOLDRATT, E. M.; FOX, R. E. **The Race**. Croton-on-Hudson, NY: North River Press, 1986. 179 p.

GREEN, J.C.; LEE, J.; KOZMAN, T.A. Managing lean manufacturing in material handling operations. **International Journal of Production Research**, v. 48, n. 10, p. 2975-2993, 2010.

GUPTA, M. C.; BOYD, L. H. Theory of constraints: a theory for operations management. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 28, n. 10, p. 991-1012, 2008.

HINES, P.; TAYLOR, D. **Going lean: a guide to implementation**. Cardiff, UK: Lean Enterprise Research Centre, 2000. 56 p.

HALIM, N. H. A. et al. Gravity flow rack's material handling system for just-in-time (JIT) production, **Procedia Engineering**, v. 41, 1714-1720, 2012.

HARRIS, R.; HARRIS, C.; WILSON, E. **Fazendo Fluir os Materiais: Um guia lean de movimentação de materiais para profissionais de operações, controle de produção e engenharia**. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2004. 93 p.

HEIN, K. Creating continuous improvement synergy with lean and TOC. In: **ASQ World Conference on Quality and Improvement Proceedings**. American Society for Quality, 1999. p. 543-549.

HOFER, C.; EROGLU, C.; HOFER, A. R. The effect of lean production on financial performance: The mediating role of inventory leanness. **International Journal of Production Economics**, v. 138, n. 2, p. 242-253, 2012.

KASEMSET, C. A review on quality improvement and Theory of Constraints (TOC). In: **Quality and Reliability (ICQR), 2011 IEEE International Conference on**. IEEE, 2011. p. 327-330

KEDIA, B. L.; MUKHERJI, A. Global managers: Developing a mindset for global competitiveness. **Journal of World Business**, v. 34, n. 3, p. 230-251, 1999.

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

LIKER, J. K. **O Modelo Toyota: 14 Princípios de Gestão do Maior Fabricante do Mundo**. Porto Alegre: Bookman, 2005. 320 p.

LIMA, M. C. O método de pesquisa-ação nas organizações: do horizonte político à dimensão formal. **Gestão.Org-Revista Eletrônica de Gestão Organizacional**, v. 3, n. 2, mai/ago 2005.

MABIN, V. J.; BALDERSTONE, S. J. The performance of the theory of constraints methodology: analysis and discussion of successful TOC applications. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 23, n. 6, p. 568-595, 2003.

MADEJSKI, J. Survey of the agent-based approach to intelligent manufacturing. **Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering**, v. 21, n. 1, p. 67-70, 2007.

MAHAPATRA, S. S.; SAHU, A. Application of theory of constraints on scheduling of drum-buffer-rope system. In: **Proceedings of the International Conference on Global Manufacturing and Innovation – July 27-29, 2006**. 2006, 8 p.

MELLO, C. H. P. et al. Pesquisa-ação na engenharia de produção: proposta de estruturação para sua condução. **Revista Produção**, v. 22, n. 1, p. 1-13, 2012.

MELLO, C. H. P.; TURRIONI, J. B. Pesquisa-ação na Engenharia de Produção. In: MIGUEL, P. A. C. et al. **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012. cap. 7, p. 149-167.

MUNIZ Jr., J. **Modelo Conceitual de Gestão de Produção Baseado na Gestão do Conhecimento: um estudo no ambiente operário da indústria automotiva**. 2007. 148 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica – Área de Concentração de Produção) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2007.

NAOR, M.; BERNARDES, E. S.; COMAN, A. Theory of constraints: is it a theory and a good one?. **International Journal of Production Research**, v. 51, n. 2, p. 542-554, 2013.

NAVE, D. How to compare six sigma, lean and the theory of constraints. **Quality Progress**, v. 35, n. 3, p. 73-79, 2002.

OKIMURA, L. I. **Uma exploração dos modelos de uso integrado da Teoria das Restrições, Produção Enxuta e Seis Sigma**. 2013. 203 f., Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção – Área de Concentração de Gestão de Produção e Sistemas) – Faculdade de Engenharia do Campus de Bauru, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2013.

OHNO, T. **Toyota production system: beyond large-scale production**. New York, NY: Productivity Press, 1988. 152 p.

PRETORIUS, P. Introducing in-between decision points to TOC's five focusing steps. **International Journal of Production Research**, v. 52, n. 2, p. 496-506, 2014.

RAHMAN, S. U. Theory of constraints: a review of the philosophy and its applications. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 18, n. 4, p. 336-355, 1998.

RAMOS, M. Z.; TENERA, A. Leveling the Production of a Potting System: A TOC/Lean approach. In: **IIE Annual Conference. Proceedings**. Institute of Industrial Engineers-Publisher, 2009. p. 2091-2096.

ROTHER, M.; SHOOK, J. **Learning to see: value stream mapping to add value and eliminate muda**. Cambridge, MA: Lean Enterprise Institute, 2003. 102 p.

SANTOS, R. F.; ALVES, J. M. Proposta de um modelo de gestão integrada da cadeia de suprimentos: aplicação no segmento de eletrodomésticos. **Production**, v. 25, n. 1, p. 125-142, 2015.

SCHRAGENHEIM, E.; RONEN, B. Drum-buffer-rope shop floor control. **Production and Inventory Management Journal**, v. 31, n. 3, p. 18-22, 1990.

SCHRAGENHEIM, E.; RONEN, B. Buffer management: a diagnostic tool for production control. **Production and Inventory Management Journal**, v. 32, n. 2, p. 74-79, 1991.

SHAH, R.; WARD, P. Lean manufacturing: context, practice bundles, and performance. **Journal of Operations Management**, v. 21, n. 2, p. 129-149, 2003.

SILLER, M.; SANCHEZ, T.; ONOFRE, J. Reducing Order Cycle Time Through a TOC-Lean Approach: A Case Study. In: **IIE Annual Conference. Proceedings**. Institute of Industrial Engineers-Publisher, 2010. p. 1-6.

SIMS, T., WAN, H.-d. Constraint identification techniques for lean manufacturing systems. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, 2015, p. 1-9.

SINGH, B. et al. Lean implementation and its benefits to production industry. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 1, n. 2, p. 157-168, 2010.

SHINGO, S. **A Study of the Toyota Production System**. New York, NY: Productivity Press, 1989. 296 p.

SHINOHARA, I. **NPS, New Production System: JIT Crossing Industry Boundaries**. Cambridge, MA: Productivity Press, 1988. 197 p.

SLACK, N. et al. **Administração da Produção**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

SPENCER, M. S.; COX, J. F. Optimum production technology (OPT) and the theory of constraints (TOC): analysis and genealogy. **The International Journal of Production Research**, v. 33, n. 6, p. 1495-1504, 1995.

STARBEK, M.; MENART, D. The optimization of material flow in production. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, v. 40, n. 9, p. 1299-1310, 2000.

TAJ, S.; BERRO, L. Application of constrained management and lean manufacturing in developing best practices for productivity improvement in an auto-assembly plant. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 55, n. 3/4, p. 332-345, 2006.

THIOLLENT, M. **Metodologia da Pesquisa-Ação**. São Paulo: Cortez, 2011. 136 p.

UMBLE, M.; UMBLE, E.; VON DEYLEN, L. Integrating enterprise resources planning and theory of constraints: a case study. **Production and Inventory Management Journal**, v. 42, n. 2, p. 43-48, 2001.

UMBLE, M.; UMBLE, E.; MURAKAMI, S. Implementing theory of constraints in a traditional Japanese manufacturing environment: The case of Hitachi Tool Engineering. **International Journal of Production Research**, v. 44, n. 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.

WATSON, K. J.; BLACKSTONE, J. H.; GARDNER, S. C. The evolution of a management philosophy: The theory of constraints. **Journal of Operations Management**, v. 25, n. 2, p. 387-402, 2007.

WESTBROOK, R. Action research: a new paradigm for research in production and operations management. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 15, n. 12, p. 6-20, 1995.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. **The Machine that Changed the World**. New York, NY: Simon and Schuster, 1990. 350 p.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation**. New York, NY: Simon and Schuster, 1996. 350 p.

APÊNDICE A – Formulário de coleta de dados para diagnóstico

DESPERDÍCIOS ENCONTRADOS		OPERAÇÃO	LOCAL
		OBSERVAÇÕES	
SUPERPRODUÇÃO			
ESTOQUE			
PROCESSOS DESNECESSÁRIOS			
DEFEITOS / RETRABALHOS			
TRANSPORTE			
MOVIMENTO			
ESPERA			
CONHECIMENTO			

APÊNDICE B – Formulário de observações e sugestões dos colaboradores

COLABORADOR	OPERAÇÃO	LOCAL
OBSERVAÇÕES +	OBSERVAÇÕES -	SUGESTÕES