



COMPARAÇÃO ENTRE A TEORIA DAS RESTRIÇÕES, A MANUFATURA ENXUTA E A ABORDAGEM SEIS SIGMA

Jéssica Mariella Bauer¹

Mestranda em Engenharia de Produção e Sistemas

Andrea Vargas²

Mestranda em Engenharia de Produção e Sistemas

Miguel Affonso Sellitto³

Doutor em Engenharia de Produção

Resumo

Este artigo faz uma revisão conceitual das práticas adotadas pelas empresas de modo segregado e evolui através da análise das convergências e diferenças entre as abordagens da Teoria das Restrições, Manufatura Enxuta e a abordagem Seis Sigma. Foi desenvolvida uma análise bibliográfica acerca dos temas individuais e levantaram-se publicações que propõe a integração das metodologias. Concluiu-se que a utilização simultânea no ambiente fabril das abordagens mencionadas fornece maior alavancagem para as empresas do que quando empregadas separadamente, o que ainda é pouco explorado.

Palavras-chave: Teoria das Restrições; Manufatura Enxuta; Seis Sigma.

¹ Universidade do Vale do Rio dos Sinos, PPGEPS, São Leopoldo-RS, jehbauer@hotmail.com

² Universidade do Vale do Rio dos Sinos, PPGEPS, São Leopoldo-RS, andreavargas03@yahoo.com.br

³ Universidade do Vale do Rio dos Sinos, PPGEPS, São Leopoldo-RS, sellitto@unisinos.br



Abstract

This article makes a conceptual review of the practices adopted individually by the companies and evolves through the analysis of the similarities and differences among the approaches of the Theory of Constraints, Lean Manufacturing and Six Sigma. It was developed a bibliographic analysis regarding the individual themes and raised publications that purpose the methodologies integration. It was concluded that the simultaneous utilization of the approaches mentioned in the manufacturing environment provides bigger improvement to the companies than its separated use, what is still not so much explored.

Keywords: Theory of Constraints; Lean Manufacturing; Six Sigma.

1. Introdução

Com o aumento da competitividade em relação a prazo e qualidade e mudanças no mercado, muitas organizações passaram a implementar métodos e ferramentas a fim de melhorar continuamente seus sistemas de manufatura (EHIE; SEHEU, 2005; OKHOVAT et al., 2012), adotando distintas ferramentas, habilidades e métodos para continuar crescendo neste cenário de mudanças (GYCI et al., 2005; BHAMU; SANGWAN, 2014).

Desde a década de 1980 passou-se a adotar o denominado “programa do ano”, ou modismos de gestão, como o MRP nos anos 70, o Seis Sigma, a gestão da qualidade total (TQM -Total Quality Management) e o JIT (Just-in-Time) ferramenta do STP (Sistema Toyota de Produção) também denominado de Lean Manufacturing (LM) nos anos 80, o TPM (TPM – Total Productive Maintenance), a TOC (Teoria das Restrições), gestão da cadeia de suprimentos (SCM - Supply Chain Management)



nos anos 90, sendo constante a introdução de novas estratégias de operações (INMAN et al., 2009; PACHECO, 2012; JAYARAM et al., 2014).

Muitas destas abordagens já se esgotaram devido à complexidade e maior competitividade em alguns segmentos, tornando-se importante a adoção de elementos de novas abordagens para elaboração de uma estratégia mais robusta (PACHECO, 2014b; SPROULL, 2009). Ressalta-se como relevante a interrelação entre esta ampla gama de metodologias, métodos, técnicas, ferramentas e abordagens com suas características peculiares no campo da qualidade e gestão da produção (MINGERS; BROCKLESBY, 1997).

Conforme Okimura e Souza (2012), as metodologias Lean, SS (Seis Sigma) e a TOC, vêm possibilitando a sobrevivência e competitividade das organizações. O seu emprego isolado contribui com benefícios, entretanto a sinergia supre as deficiências e fraquezas de cada uma, potencializando os resultados (DETTMER, 2001). Observando-se diversos estudos nesse sentido como Carvalho et al. (2007) que relataram a existência de sinergia entre elas, além de Pacheco et al. (2012) que evidencia haver um vasto campo de pesquisa na Engenharia de Produção acerca da complementaridade entre a Teoria das Restrições e o Lean Manufacturing, e outras abordagens como o Seis Sigma e TQM. Nesse sentido o estudo de Pirasteh e Fox (2010) aponta que a metodologia Seis Sigma pode apresentar uma contribuição econômica de 7%, o Lean 4% e o iTLS, ou seja, a união das três metodologias TOC, Lean e Seis Sigma possibilita incrementos da ordem de 87%.

Todavia, as publicações acadêmicas no âmbito nacional são incipientes, mas são consideráveis internacionalmente. Poucos trabalhos foram desenvolvidos acerca da integração das abordagens TOC, LM e SS (OKIMURA; SOUZA, 2012) e de acordo com Pirasteh e Fox (2010) muitas dúvidas permeiam sobre estas.



Portanto esta pesquisa visa comparar as abordagens Lean, Seis Sigma e TOC e busca responder a seguinte questão: Como a TOC, Lean e Seis Sigma se complementam como abordagens de gestão da produção? Entre os objetivos específicos estão: (i) Revisar os conceitos separadamente (ii) Identificar as suas diferenças e similaridades e (iii) Analisar as potencialidades de sua integração.

Cabe aqui ressaltar, conforme Mingers e Brocklesby (1997) as diferenças entre paradigmas, metodologias e técnicas de modo a facilitar a compreensão do leitor. Um paradigma é um conjunto de pressupostos filosóficos que definem a natureza de uma investigação e intervenção, composto por diversas metodologias. Já uma metodologia pode ser considerada uma junção de atividades para auxílio, sendo compostas por técnicas, que são atividades com propósito definido. Portanto a metodologia especifica as atividades que devem ser executadas e a técnica é a forma com a qual estas devem se realizar (MINGERS; BROCKLESBY, 1997).

Este artigo está dividido em seis seções. Na seção 2 elaborou-se uma revisão da literatura básica acerca de cada uma das metodologias isoladamente (TOC, Lean e Seis Sigma). Na seção 3 ilustrou-se a metodologia empregada para a revisão da literatura. Na sequencia demonstrou-se como ocorre a integração dos métodos e algumas das divergências presentes entre eles. Elaborou-se um quadro integrativo, apresentando-se os benefícios, características e desvantagens de cada abordagem e detalhando seus enfoques singulares. Por último, foi realizada uma discussão da importância tanto gerencial como científica de tal pesquisa.



2. Revisão Teórica

2.1 A Teoria das Restrições

A Teoria das Restrições (Theory of Constraints - TOC) foi desenvolvida Eliyahu Goldratt ao final da década de 70, tornando-se conhecida mundialmente com o lançamento do renomado livro “A meta” (GOLDRATT; COX, 2002). A metodologia possui antecedentes no software OPT (Optimized Production Technology) (SPENCER; COX, 1995; OGLETHORPE; HERON, 2013).

De acordo com Rahman (1998) e Imann et al.(2008) a Teoria das Restrições é dividida três abordagens: (i) Logística: Incluindo os cinco passos de focalização, análise V-A-T, Tambor-Pulmão-Corda (TPC), Gerenciamento de Pulmões (Buffer Management) e o processo de programação da produção; (ii) Processo de Raciocínio: Método para a resolução de problemas organizacionais composto das ferramentas: Árvore da Realidade Atual (ARA), Evaporação das Nuvens (EN), Árvore da Realidade Futura(ARF), Árvore de Pré-requisitos(APR) e Árvore de Transição(AT); e (iii) Sistema de Desempenho: Ganho(G), Inventário (I), Despesa Operacional (DO), decisões de mix de produção, Ganho-Dinheiro-Dia (GDD) e Inventário-Dinheiro-Dia (IDD).

Segundo o AGI (2013) a TOC trata da melhoria e gestão da forma como a restrição é executada no contexto da totalidade do sistema, compondo interdependências, variabilidades e restrições. A metodologia possui foco central nas restrições, ou seja, o elo mais fraco, que pode interferir no desempenho do sistema como um todo (WAN DER WALT, 2012) e é orientada ao ganho (meta da empresa) e simultaneamente redução do inventário e despesas operacionais ao invés de



dispender esforços na redução de despesas operacionais como é o caso de filosofias como o Lean (AGHILI, 2011; GOLDRATT; FOX, 2002).

Goldratt concentra-se nos cinco passos de focalização, na identificação da restrição, mais especificamente, o fator que compromete a empresa obter desempenho em direção a sua meta de “ganhar mais dinheiro hoje e no futuro” (KIM; MABIN; DAVIES, 2008), conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – O processo de focalização da TOC

Os cinco passos de focalização da Teoria das Restrições	
1. Identificar a restrição	Aquele recurso ou elo mais fraco que restringe o sistema de crescer infinitamente, delimitando o seu desempenho, podendo ser interno ou externo, física ou não física (política/mercado).
2. Explorar a restrição	Gerir tal recurso de modo a tirar o melhor proveito deste, utilizando sua capacidade extrema, não o desperdiçando.
3. Subordinar tudo a restrição	Os recursos não restritivos devem estar subordinados à velocidade/capacidade da restrição, permitindo que o sistema como um todo obtenha desempenho maior.
4. Elevar a restrição	Buscar aumentar a capacidade da restrição.
5. Impedir que a inércia tome conta do sistema	Deve-se repetir o ciclo de modo a organização estar continuamente busca melhoria de performance, reavaliando-se novas restrições no sistema.

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de Goldratt e Cox (2002); Almeida (2007) e Antunes (1998).

2.2 Lean Manufacturing

O Sistema Toyota de Produção de acordo com Bhamu e Sangwan (2014) surgiu na empresa Toyota, na década de 1950 no Japão, com perspectiva de redução do uso de recursos que não agregavam valor. O sistema passou a ser divulgado em 1988 como Produção Enxuta ou Lean Production, tornando-se de conhecimento mundial após o pesquisador do MIT (Massachusetts Institute of



Technology), John Krafcik, haver lançado o livro “A máquina que mudou o mundo” em estudo conhecido como International Motor Vehicle Program (IMPV) (HOWLEG, 2007; DETTMER, 2001).

Devendo-se o enxuto, de manufatura enxuta, ao fato da utilização de menores quantidades em todos os processos em relação à produção em massa, fazendo-se mais com menos, menos estoques, investimento, menos defeitos, entre outros (WOMACK; JONES; ROSS, 1992; ALVES et al., 2012). O Lean prega a melhor utilização dos recursos, buscando fornecer valor aos clientes com baixo custo, melhorando os fluxos de valor, fornecendo o que os clientes almejam, a preços adequados, com elevado nível de qualidade e reduzido lead time (LEAN INSTITUTE BRASIL, 2014). É caracterizado por cinco princípios: especificar valor para os consumidores; identificar o fluxo de valor, ou seja, as atividades que geram as que não geram valor para os clientes finais; realização das atividades em fluxo contínuo; produção puxada e busca pela perfeição, ou seja, melhoria contínua (LEAN INSTITUTE BRASIL, 2014; ALVES et al., 2012; SALAH et al., 2010) e busca o estabelecimento de um fluxo contínuo de materiais e informações e a eliminação dos desperdícios, ou seja, atividades que não agregam valor, mas que consomem recursos (LIKER; FRANZ, 2013).

De acordo com Haley (2014) e Liker (2006) existem três desperdícios, ou 3M's: muda, mura e muri. O “muri” é o sobrecarregamento tanto dos recursos como das pessoas; o “mura” representa o desnivelamento, variabilidade ou instabilidade e por último a ‘muda’ é todo trabalho que não agrega valor para a organização, somente custos (RABAKAVI; RAMAKRISHNA; BALIGAR, 2013).

Entre as práticas, além do JIT, o Lean engloba sistemas de qualidade, células de produção, gerenciamento de fornecedor (SHAH; WARD, 2003) e o kanban, o



qual é um cartão plástico que contém as informações necessárias para a produção de um item em cada estágio determinando os caminhos que este deve percorrer, controlando o fluxo de produção e de estoque no sistema (KUMAR; PANNEERSELVAM, 2007).

2.2 Seis Sigma

Conforme Mehrjerdi (2011) o Seis Sigma foi inventado pelo Dr. Mike Harry, um estatístico. A primeira empresa a fazer adoção do programa foi a Motorola, no ano de 1986 com o intuito de medir o desempenho da qualidade, obtendo uma redução 2.2 bilhões de dólares em defeitos de qualidade como retrabalho, garantias e sucatas (BAÑUELAS; ANTONY, 2002; CORONADO; ANTONY, 2002).

O Seis Sigma é uma metodologia que objetiva a redução da variabilidade dos processos, melhorando a qualidade dos produtos e impactando na satisfação dos clientes por meio de técnicas estatísticas já presentes em estudos de Shewart, Juran e Deming (BAÑUELAS; ANTONY, 2002; ANTONY, 2002). O método está relacionado com a capacidade de produzir produtos/unidades/peças sem defeitos (KLEFSJÖ et al., 2001), implantado com perspectivas de melhoria da qualidade e produtividade (CARVALHO et al., 2007). De acordo com Palanisamy e Divyaprya (2013) o Seis Sigma reduz os defeitos através de análise de dados e estatística identificando erros e buscando eliminá-los. É implantado com perspectiva de obtenção de maior controle, redução de custos, aumento da satisfação dos clientes e aumento valor, pois todos os erros produzem custos associados, como perda de clientes, desperdício de material e retrabalho (GYCI et al., 2005).

O Seis Sigma inclui a ferramenta denominada DMAIC (Definir, Medir, Analisar Melhorar e Controlar), que significa conforme Jin et al.(2009) (D) de definir os



problemas das empresas e identificar modos de superá-los; (M) de medir as melhorias e obter dados e informações para alcançar a melhoria; (A) de analisar as informações coletas e em seguida melhorar ou (I) Incrementar e por último, (C) de controlar os processos para estarem sob controle e não afastados do desempenho almejado (PALANISAMY; DIVYAPRYA, 2013; WERKEMA, 2012).

O nível Seis Sigma é, portanto considerado um benchmark(alvo) para que os processos alcancem os requisitos da demanda, ou seja, o máximo nível de qualidade (PFEIFER; et al., 2004), sendo a meta da empresa o alcance de 3.4 defeitos por milhão de oportunidades (DPMO), demonstrando-se no Quadro 1 os níveis sigma existentes e os respectivos defeitos por milhão.

Nível da Qualidade	Porcentagem de defeitos	Defeitos por milhão (ppm)
Um sigma	69%	691.462
Dois sigma	31%	308.537
Três sigma	6.7%	66.807
Quatro sigma	0.62%	6.210
Cinco sigma	0.023%	233
Seis sigma	0.00034%	3.4
Sete sigma	0.0000019%	0.019

Quadro 1 – Níveis de qualidade sigma

Fonte: Werkema(2012) e Gyci et al.(2005)

3. Metodologia

Este artigo objetivou realizar uma análise bibliográfica acerca da integração das metodologias TOC (Teoria das Restrições), Lean Manufacturing (Manufatura Enxuta) e Seis Sigma. Para tanto foram realizadas pesquisas em diversas bases de dados acerca do tema. A pesquisa foi conduzida seguindo-se cinco etapas: (i) definição das palavras-chave; (ii) escolha das bases de dados e definição do período



das publicações; (iii) pesquisa de artigos em bases de dados e análise dos títulos encontrados, palavras-chaves e resumos do artigos; (iv) análise da integração e comparação entre as metodologias e (v) discussão e conclusão.

Os procedimentos adotados para a revisão da literatura foram divididos em:

- a) Palavras-chave: Empregaram-se para a pesquisa de artigos os seguintes termos: Teoria das Restrições (TOC), Lean Manufacturing (Lean) e suas derivações (Lean Production e Manufatura Enxuta), Lean Seis Sigma (LSS) e TLS, considerando-se que as publicações poderiam referenciar dois termos simultaneamente;
- b) Definição das bases de dados: Emerald, Science Direct, Scielo, Portal de periódicos da CAPES, EBSCO Host, Springer, Scopus, Google Acadêmico, IEEE;
- c) Definição do horizonte temporal de publicações: Entre 1994 e 2014 englobando um período de 20 anos de pesquisas;
- d) Análise dos títulos, palavras-chaves e resumos dos artigos: O critério de relevância adotado na filtragem dos artigos foi a ênfase nos termos definidos, averiguou-se quantidade incipiente de pesquisas realizadas acerca das integrações entre o Lean, Seis Sigma e a Teoria das Restrições no Brasil, o que justifica a importância desta pesquisa.

O método de pesquisa adotado foi a abordagem qualitativa, buscando-se informações confiáveis para explicar-se com profundidade as características do contexto do objeto de pesquisa (OLIVEIRA, 2012), sendo o nível de pesquisa exploratório. Os dados foram obtidos através de pesquisa bibliográfica, que conforme Marconi e Lakatos (2011) e Koche (2012), abrange a pesquisa em toda



bibliografia já publicada acerca do tema do estudo, tentando-se explicar um problema através do conhecimento disponível e já publicado, levantando-se o conhecimento disponível na área com a finalidade de ampliar o grau de conhecimento, descrevendo-se o estado da arte acerca do tema.

Embasando-se esta revisão principalmente acerca da TOC, Lean e Seis Sigma, mas considerando outras integrações demonstradas no Quadro 2.

METODOLOGIAS	AUTORES
TOC e Seis Sigma	Aghili (2011), Almeida (2007), Ehie e Sheu (2005), Husby (2007), Jin et al.(2009), Pacheco(2014a), Pacheco(2014b), Pacheco(2013), Pacheco, Jung e Ten Caten(2013)
TOC, Lean e Seis Sigma	AGI (2013), Nave(2002), Sproull(2009), Okimura e Souza(2012), Pacheco(2012), Pacheco e Antunes Jr.(2011), Pirasteh e Fox(2010), Pitcher(2010), e Stephen(2009), Sproull(2009)
Lean, Seis Sigma e TQM	Andersson et al.(2006)
Seis Sigma e TQM	Klefskjö, Wilklund e Edgeman(2001)
TOC e TQM	Simatupang et al.(1997), Zadry e Yusof(2006)
TPM, Lean e Seis Sigma	Okhovat et al.(2012)
TQM, TPM, TOC, Lean e Seis Sigma	Stamm et al.(2009)
JIT, TQM, TPM e RH	Shah e Ward (2003)
TQM, Lean, SCM	Jayaram et al.(2014)
JIT, TQM, TPM, SCM e TOC	Venkatesh et al.(2007)
TQM e JIT	Zelbst et al.(2010)

Quadro 2 – Revisão de pesquisas sobre integrações e comparações entre metodologias

Fonte: Elaborado pelos autores (2014)



4. Divergências e semelhanças entre as abordagens

Como menciona AGI (2013) é relevante conhecer as divergências e semelhanças entre as abordagens, para a sua adoção, já que as três aparentam conflitar, criando dúvida acerca de similaridades, diferenças e efeitos (STEPHEN, 2009). E de acordo com Okhovat et al. (2012), Habidin et al.(2012) e Salah(2010) em quase todas as experiências satisfatórias uma das três tornou-se predominante, contudo a implementação pode ocorrer de forma integrada, em vez de sequencialmente e simultaneamente. Observando-se a comparação no Quadro 3.



	Teoria das Restrições (TOC)	Lean Manufacturing (Lean)	Seis Sigma (SS)
Origem	Goldratt (década de 80)	Toyota (década de 70)	Motorola (década de 80)
Estrutura de aplicação	1. Identificar a restrição 2. Explorar a restrição 3. Subordinar 4. Elevar a restrição 5. Retornar ao passo 1	1. Identificação de valor 2. Identificação do fluxo de valor 3. Fluxo 4. Puxar 5. Perfeição	1. Definir 2. Medir 3. Analisar 4. Melhorar 5. Controlar
Foco	Na restrição do sistema	No fluxo	No problema
Pressupostos	Ênfase na velocidade e volume. Os processos são interdependentes.	A remoção de desperdícios aperfeiçoará o desempenho da empresa.	A saída do sistema é melhorada quando reduz-se a variação em todos os processos.
Efeito primário	Ganho mais rápido	Redução do tempo de fluxo	Uniformidade dos processos
Efeito secundário	Menos estoque e desperdícios Contabilidade de ganhos	Aumento da efetividade; Padronização; Menos variação; Menos estoque; Novo sistema de contabilidade; Melhoria da qualidade.	Aumento da efetividade; Menos desperdícios; Ganhos rápidos; Menos estoques; Melhoria da qualidade; Redução de defeitos;



			Padronização dos processos.
Indicador de desempenho	- globais: lucro líquido (LL), retorno sobre o investimento (RSI), fluxo de caixa (FC); - locais: ganho (G), inventário (I), despesas operacionais (DO)	-Custo-alvo - Custo-kaizen	DPMO (Defeitos por milhão de oportunidades)
Capacidade de produção	Limitada - Considera capacidade finita na restrição e infinita nas não-restrições	Limitada - Considera capacidade finita - É planejada por kanban	-
Controle da carga de trabalho	A Corda do algoritmo Tambor-Pulmão-Corda é usada para liberar material	Kanban	-
Tamanho dos Lotes	Lotes maiores para a restrição e menores para não gargalos	Lotes pequenos. É um desperdício que precisa ser eliminado	-



Observa-se que tanto o Lean como a TOC buscam tornar mais rápido o fluxo ao longo dos processos e reduzir o tempo de atravessamento (Lead Time) dos produtos até o mercado (AGI, 2013). Apesar das semelhanças na redução do tamanho dos lotes e do inventário, o Lean possui uma visão radical considerando desperdício qualquer inventário, enquanto a TOC mantém um estoque mínimo em frente ao gargalo (JONES; DUGDALE, 1998).

Quanto à dispersão de estoque entre os processos (WIP), a TOC emprega o TPC (Tambor-Pulmão-Corda) utilizando uma corda limitando a dispersão do estoque ao comprimento das cordas, ao passo que no Lean a superprodução e o WIP são limitados pelos cartões Kanban (quantidade predeterminada de containers), ambas as abordagens considerando que os estoques podem criar problemas operacionais e esconder ineficiências (PANTULLO, 1994; MOORE, 1998). Já em se tratando dos lotes de processo e transferência, o Lean não faz distinção entre eles, enquanto a TOC preza que o lote de processo e de transferência devem ser distintos (PIRASTEH; FOX, 2010).

Outra diferença é a liberação de material para a produção. Ambos são sistemas puxados, mas a TOC baseia-se no tempo enquanto o LSS (Lean Seis Sigma) no estoque. A TOC utiliza o método TPC que possui um pulmão de tempo na restrição, liberando material conforme os pulmões de tempo e o tempo de processamento na restrição. Já o Lean libera materiais conforme o estoque (Kanban) o qual é ativado quando há demanda, e o Kanban enviado de frente para trás, acionando e controlando o fluxo de material (AGI, 2013).

Conforme Moore (1998) o Lean falha nos sistemas de medição, no que diz respeito à contabilidade de custos, já que as restrições e não restrições são



consideradas igualmente. Ainda Moore (1998) e Dettmer (2001) mencionam que o Lean foca em melhorias de redução de custos tanto fixos e variáveis e eliminação de desperdícios, ao passo que a TOC busca a melhoria do lucro líquido (GANHO) e aumento das vendas para em sequência tomar decisões de redução de inventário e despesa operacional.

A TOC de acordo com Reid (2008) Salah (2010) e Okimura e Souza (2012) identifica a restrição do sistema e prioriza a atenção nas atividades de melhoria, direcionando os esforços do Lean e do Seis Sigma, auxiliando o Lean na redução de perdas e agregação de valor pelo mapeamento do fluxo de valor, e o Seis Sigma no foco na redução da variação, provendo estabilidade aos processos. Podendo a integração das metodologias prover um retorno de investimento de 10X1 quando da comparação de aplicação das metodologias isoladamente (ALLEN, 2010).

Enquanto o Lean busca a eliminação da variabilidade, a TOC julga que os processos já estão sobre controle e não lida com incertezas externas de mercado, aceitando a variabilidade e incertezas externas (*Murphy*), com capacidade desbalanceada (JONES; DUGDALE, 1998; DETTMER, 2001). Ademais, no Lean calcula-se o *takt time*, ou seja, a produção no ritmo da demanda, e em seguida busca-se equilibrar os recursos e equipamentos com este ritmo estabelecido, a fim de equilibrar a capacidade igual à demanda. Mas, mantém um pouco de capacidade extra em caso de rompimentos, o que é considerado desperdício. Esta capacidade é análoga aos pulmões protetores das restrições da TOC, entretanto, o Lean aplica os pulmões em todo o sistema e de materiais, enquanto a TOC somente na restrição e pulmões de tempo (DETTMER, 2001; PIRASTEH; FOX, 2010; OKIMURA; SOUZA, 2012; AGI, 2013). Assim, nas linhas balanceadas (Lean) espera-se que os funcionários trabalhem conforme o *takt* enquanto nas desbalanceadas (TOC) os



trabalhadores revesam-se, assim se um operador for bloqueado executará o trabalho seguinte aguardando o desbloqueamento do antecedente (AGI, 2013).

Entre o Lean e o Seis Sigma, percebe-se que o Seis Sigma foca primeiramente nos benefícios econômicos para em seguida concentrar-se na satisfação dos clientes, ao passo que o Lean preza a melhoria dos processos para satisfação dos clientes (ANDERSSON et al.,2006). O Seis Sigma também falha na análise da cadeia de valor com orientação para projeto focando em setores específicos, o que pode levar a priorização de projetos que não beneficiem o sistema todo, podendo a TOC complementar esta metodologia neste ponto. Além de a integração das mesmas apresentarem benefícios como o maior entendimento das restrições do sistema e impactos no desempenho, visão sistêmica e melhor utilização e programação dos recursos (ALMEIDA, 2007; HUSBY, 2007; SALAH, 2010).

Assim, para integração das metodologias, Pacheco e Antunes Jr.(2011) consideram primeiro adotar o SS para a redução da variação da restrição e de todos os processos posicionados após a restrição, para potencializar o desempenho do Lean e da TOC, minimizando-se o inventário no fluxo e não comprometendo as saídas após o gargalo, ou seja, o ganho do sistema. Observando os autores que nenhuma das abordagens é superior em termos de prover competitividade. É essencial a avaliação do ambiente organizacional para a escolha das abordagens ou integração, não havendo resposta de qual das mesmas é melhor escolha, variável com a organização e seus objetivos (PIRASTEH; FOX, 2010; PACHECO et al., 2013).



5. Considerações finais

O objetivo deste trabalho foi comparar as abordagens Lean, Seis Sigma e TOC. Para tanto o método de pesquisado adotado foi a revisão da literatura. Os objetivos específicos foram (i) Revisar os conceitos separadamente (ii) Identificar as suas diferenças e similaridades e (iii) Analisar as potencialidades de sua integração.

Verificou-se que a integração entre o *Lean Manufacturing* e outras metodologias é bem difundida tanto na literatura quanto esta vem sendo empregada por diversas empresas dos mais variados setores como a indústria e instituições hospitalares. Por outro lado, observaram-se poucos estudos principalmente nacionais, acerca da integração entre, TOC, Lean e Seis Sigma, bem como outras metodologias como TQM e TPM.

Identificaram-se os pontos de convergência e diferença entre as abordagens e concluiu-se haver mais pontos comuns entre as abordagens do que de exclusão, podendo fornecer grandes saltos de desempenho para as empresas que já adotam as abordagens separadamente. Venkatesh et al.(2007) afirmam que as organizações que adotaram a sinergia entre as abordagens podem se considerar superiores aquelas que adotaram-nas isoladamente. Todas são similares perseguindo a redução de custos, melhoria da qualidade, flexibilidade e melhoria de desempenho.

Entre as paridades Pacheco et al.(2014b) ressaltam o balanceamento de fluxo, em que tanto a TOC quanto o Lean buscam a sincronização visando a redução do *lead time* e de estoques, porém com ferramentas distintas, a TOC com o Tambor-Pulmão-Corda e a Produção Enxuta com o sistema Kanban.



É importante que os gestores conheçam a fundo cada uma das metodologias bem como as similaridades e diferenças entre elas, de modo a compreender quais ações deverão ser tomadas para a integração. Isso nos leva a crer que a elaboração deste artigo é justificável, contribuindo no âmbito empresarial bem como no âmbito acadêmico pela escassez de artigos nacionais envolvendo a integração da TOC, Lean e Seis Sigma. Porém, é importante que as empresas não vejam as metodologias somente uma junção de ferramentas, mas compreendam os princípios e métodos por trás do sistema (LIKER; FRANZ, 2013).

Como sugestões de futuras pesquisas sugerem-se estudos de casos em empresas que adotaram as três metodologias, possibilitando-se verificar quais são as dificuldades de implementação e se as descrições empíricas são similares ao que foi considerado em estudos teóricos. Ainda, consideram-se importantes mais pesquisas diferenciando metodologias, métodos, princípios, ferramentas e teorias os quais vêm sendo adotados pelas empresas com o intuito de obterem maior vantagem competitiva e requerem-se pesquisas acerca de quais indicadores de desempenho empregar em um ambiente de integração.

REFERÊNCIAS

AGHILI, S. Throughput Metrics Meet Six Sigma, **Management Accounting Quarterly**, v.12, n.2, p.12-17, 2011.

ALLEN, T.T. **Introduction to engineering statistics and lean sigma**. 2. ed. Springer Verlag, London, 2010.

ALMEIDA, R.L.R. **Proposta De Um Modelo De Integração das Abordagens Seis Sigma e Teoria Das Restrições: Um Estudo de Caso**. 105f. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara d’Oeste, 2007.



ALVES, A.C.; DINIS-CARVALHO, J.; SOUSA, R.M. Lean production as promoter of thinkers to achieve companies' agility, **The Learning Organization**, v. 19, n. 3, p. 219-237, 2012.

ANDERSSON, R.; ERIKSSON, H.; TORSTENSSON, H. Similarities and differences between TQM, six sigma and lean, **The TQM Magazine**, v. 18, n. 3, p. 282-296, 2006.

ANTONY, J. Design for six sigma: a breakthrough business improvement strategy for achieving competitive advantage, **Work Study**, v. 51, n.1, p.6-8, 2002.

ANTUNES, J. A. V. **Em Direção a uma Teoria Geral do Processo na Administração da Produção: uma Discussão Sobre a Possibilidade de Unificação da Teoria das Restrições e da Teoria que Sustenta a Construção dos Sistemas de Produção com Estoque Zero**. 1998. 407f. Tese (Doutorado em Administração), Programa de Pós-Graduação em Administração, UFRGS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS, 1998.

AGI – INSTITUTO AVHRAH GOLDRATT. **Associando produção enxuta, Seis Sigma e teoria das restrições para obter um grande salto de desempenho**. In: James F. Cox III; John G. Schleier Jr. (Org). **Handbook da Teoria das Restrições**. Porto Alegre, RS: Bookmann, 2013. p.1095-1109.

BAÑUELAS, R.; ANTONY, J. Critical success factors for the successful implementation of six sigma projects in organisations, **The TQM Magazine**, v. 6, n.4, p.250- 263, 2004.

BAÑUELAS, R.; ANTONY, J. Six sigma ou design for six sigma, **The TQM Magazine**, v. 14, n.2, p.91-99, 2002.

BHAMU, J.; SANGWAN, K.S. Lean manufacturing: literature review and research issues, **International Journal of Operations & Production Management**, v. 34, n.7, p. 876-940, 2014.

CARVALHO, M.M.; HO, L.L.; BOARIN PINTO, S.H. Implementação e difusão do programa Seis Sigma no Brasil, **Produção**, v. 17, n. 3, p. 486-501, 2007.



INMAN, R.A., SALE, M.L.; GREEN, K.W. Analysis of the relationships among TOC use, TOC outcomes, and organizational performance, **International Journal of Operations & Production Management**, v. 29, n.4, p. 341-356, 2009.

JAYARAM, J.; TAN, K.C.; LAOSIRIHONGTHONG, T. The contingency role of business strategy on the relationship between operations practices and performance, **Benchmarking: An International Journal**, v.21, n. 5, p. 690-712, 2014.

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

KIM, S.; MABIN, V.J.; DAVIES, J. The Theory of Constraints Thinking Process: retrospect and prospect, **International Journal of Operations & Production Management**, v. 28, n. 2, 2008.

KLEFSJÖ, B.; WILKLUND, H.; EDGEMAN, R. Six sigma seen as methodology for Total Quality Management, **Measuring Business Excellence**, v.5, n.1, p.31-35, 2001.

KÖCHE, J.C. **Fundamentos da metodologia científica: teoria da ciência e iniciação à pesquisa**. 30.ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 2012.

KUMAR, C.S.; PANNEERSELVAM, R. Literature review of JIT-KANBAN system, **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v.32, n.3-4, p.393-408, 2007.

LEAN INSTITUTE BRASIL. **Site Institucional**. Disponível em: <http://www.lean.org.br/5_principios.aspx>. Acesso em: 08 jul. 2014.

LIKER, J.K. **O modelo Toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo**. Porto Alegre: Bookman, 2006.

_____.; FRANZ, J.K. **O modelo Toyota de melhoria contínua: estratégia+ experiência operacional = desempenho superior**. Porto Alegre: Bookman, 2013.



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.

MARCONI, M.A.; LAKATOS, E.M. **Técnicas de pesquisa: planejamento e execução de pesquisas, amostragens e técnicas de pesquisa, elaboração, análise e interpretação de dados**. 7.ed. São Paulo: Atlas, 2011.

MEHRJERDI, Y.Z. Six-Sigma: methodology, tools and its future, **Assembly Automation**, v.31, n. 1, p.79 – 88, 2011.

MINGERS, J; BROCKLESBY, J. Multimethodology: Towards a framework for mixing methodologies, **Omega**, v. 25, n.5, p. 489-509, 1997.

MOORE,R.; SCHEINKOPF, L. **Theory of constraints and lean manufacturing: friends or foes**. 1998.

NAVE, D. How to compare Six Sigma, Lean and the Theory of Constraints, **Quality Progress**, p. 73-79, 2002.

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

OGLETHORPE, D.; HERON, G. Testing the theory of constraints in UK local food supply chains, **International Journal of Operations & Production Management**, v. 33, n.. 10, p. 1346-1367, 2013.

OKHOVAT, M.A.; ARIFFIN, M.K.A.M.; NEHZATI, T.; HOSSEINI, S.A. Development of world class manufacturing framework by using six-sigma, total productive maintenance and lean, **Scientific Research and Essays**, v.7, n.50, p. 4230 -4241, 2012.

OKIMURA, L.I.; SOUZA, F.B. Análise Dos Modelos De Integração Das Abordagens Teoria Das Restrições, Produção Enxuta E Seis Sigma: Um Estudo Teórico, **Anais... VII Congresso Nacional de Excelência em Gestão**, 2012.

OLIVEIRA. M. M. **Como fazer uma pesquisa qualitativa**. 3.ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 2010.



PACHECO, D.A.J.. Teoria das Restrições, Lean Manufacturing e Seis Sigma: limites e possibilidades de integração, **Production**, v.24, n.4, p. 940-956, 2014a.

_____. Theory of Constraints and Six Sigma: Investigating differences and similarities for continuous improvement, **Independent Journal of Management & Production**, v.5, n.2, p.331-343, 2014b.

_____.; ANTUNES JR, J.A.V. Uma Discussão Sobre a Integração entre Teoria das Restrições, Lean e Seis Sigma para a Melhoria Contínua, **Anais... XXXI ENEGEP - Encontro Nacional De Engenharia De Produção**, Belo Horizonte, MG, 2011.

_____.; LACERDA, D.P.; CORCINI NETO, S.L.H.; JUNG, C.F.; ANTUNES JR, J.A.V. Balanceamento de fluxo ou balanceamento de capacidade? Análises e proposições sistêmicas, **Gestão & Produção**, v. 21, n. 2, p.355-368, 2014.

_____.; LUZ, D.F.; ROCHA, E.A.M.; DORNELLES, P.G.; ANTUNES JR, J.A.V. Uma Análise Crítica entre a Teoria Das Restrições e o Lean Manufacturing, **Anais do XXXII ENEGEP - Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, Bento Gonçalves, RS, 2012.

_____. JUNG, C.F.; TEN CATEN, C.S. Teoria das Restrições e Seis Sigma: limites e possibilidades de integração para a melhoria contínua, **Revista Espacios**, v. 34, n. 11, 2013.

PALANISAMY, V.; DIVYAPRIYA, P. Six Sigma Approach for Effective Process Chain in A Manufacturing Industry, **Middle-East Journal of Scientific Research**, v.17, n.12, p.1891-1895, 2013.

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

PFEIFER, T.; REISSIGER, W.; CANALES, C. Integrating six sigma with quality management systems, **The TQM Magazine**, v.16, n.4, p.241-249, 2004.



PIRASTEH, R.M.; FOX, R.E. **Profitability with no Boundaries: optimizing Toc and lean-six sigma**, Quality Press, Milwaukee, 2010.

RABAKAVI, H.; RAMAKRISHNA, H.; BALIGAR, S. Thorough Elimination of Muri, Mura and Muda to Achieve Customer Satisfaction, **International Journal of Innovative Research and Development**, v.2, n.5, 2013.

RAHMAN, S. 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.

SALAH, S.; RAHIM, A.; CARRETERO, J.A. The Integration of six sigma and lean management, **International Journal of Lean Six Sigma**, v.1, n.3, p. 249-274, 2010.

SHAH, R.; WARD, P.T. Lean manufacturing: context, practice bundles, and performance, **Journal of Operation Management**, v. 21, n.2, p. 129-49, 2003.

SHINGO, S. **O sistema Toyota de Produção: do ponto de vista da engenharia de produção**. Porto Alegre: Bookman, 1996.

SIMATUPANG, T.M.; HURLEY, S.F.; EVANS, A.N. Revitalizing TQM efforts: a self-reflection diagnosis based on the theory of constraints, **Management Decision**, v. 35, n.10, p. 746-52, 1997.

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

SPROULL, B. **The ultimate improvement cycle: maximizing profits through the integration of Lean, Six Sigma, and the Theory of Constraints**. Boca Raton, FL, Taylor & Francis Group, 2009.

SOUZA, F.B.; BAPTISTA, E.A.; GRIVOL, R.F.; FRANCHI, R.H.O.L.; COPPINI, N.L. Otimização de processos de usinagem: uma abordagem baseada na teoria das restrições, **Anais ... XXVI ENEGEP - Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, Fortaleza, CE, 2006.



STAMM, M.L.; NEITZERT, T.R.; DARIUS P.K. TQM, TPM, TOC, Lean and Six Sigma–Evolution of manufacturing methodologies under the paradigm shift from Taylorism/Fordism to Toyotism? **International Annual Euroma Conference-Gothenburg**, Sweden, 2009.

STEPHEN, M. Trimming Waste: A guide to Six sigma, Lean, and the Theory of Constraints, **Canadian Plastics**, p.19-21, 2009.

VENKATESH, M.A.; WAKCHAURE, V.D.; KALLURKAR, S.P. Synergies of Three Letters Syndrome for Revitalizing Manufacturing, **Engineering Letters**, v.14, n.1, p.55-60, 2007.

WERKEMA, C. **Criando a cultura Seis Sigma**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

WOMACK, J. P.; JONES, D.T.; ROOS, D. **A Máquina que Mudou o Mundo**. 17. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1992.

ZADRY, H.R.; YUSOF, S.M. Total Quality Management and Theory of Constraints Implementation in Malaysian Automotive Suppliers: A Survey Result, **Total Quality Management**, v.17, n. 8, p. 999–1020, 2006.

ZELBST, P.J.; GREEN JR., K.W.; ABSHIRE, R.D.; SOWER, V.E. Relationships among market orientation, JIT, TQM, and agility, **Industrial Management & Data Systems**, v. 110, n.5, p. 637-658, 2010.