

UMA DISCUSSÃO SOBRE A INTEGRAÇÃO ENTRE TEORIA DAS RESTRICÇÕES, LEAN E SEIS SIGMA PARA A MELHORIA CONTÍNUA

Diego Augusto de Jesus Pacheco (UNISINOS)

engdie@gmail.com

Jose Antonio Valle Antunes Junior (UNISINOS)

junico@produttare.com.br



O primeiro objetivo desse estudo é analisar os pontos de convergência e de exclusão existentes entre Teoria das Restrições, Lean Manufacturing e Seis Sigma quando usados de maneira integrada em um modelo de melhoria contínua de processos em sistemas de manufatura. Essa pesquisa também visa contribuir para o melhor entendimento sobre os princípios fundamentais de tais metodologias, realizando uma análise comparativa de aspectos críticos. O eixo principal de discussão desse estudo foi buscar identificar na literatura características de exclusão e similaridades entre as três abordagens quando aplicadas de maneira integrada em sistemas produtivos. Os resultados desse estudo sugerem que Teoria das Restrições, Lean Manufacturing e Seis Sigma possuem diversos elementos complementares, pontos divergentes e que há um vasto campo de pesquisa a ser explorado sobre o tema.

Palavras-chaves: Teoria das Restrições. Lean Manufacturing. Seis Sigma.

1. Introdução

O objetivo do presente artigo é investigar a sinergia existente entre as metodologias do *Lean Manufacturing*, da Teoria das Restrições e do Seis Sigma quando usadas de forma combinada para a melhoria contínua de processos em ambientes de manufatura. A discussão fundamenta-se na medida em que o uso de abordagens isoladas vem sendo adotadas por organizações, e via de regra, tais abordagens já atingiram seu limite de desempenho frente à competitividade atual e à complexidade de alguns mercados. Além disso, se faz necessário buscar elementos de outras abordagens para tornar mais robustas as atuais estratégias de melhoria contínua adotadas atualmente nas empresas brasileiras.

Alguns autores vêm estudando a combinação de abordagens para oferecer modelos integrados de melhoria contínua. Stamm *et al.* (2009) analisou a evolução e diferenças fundamentais entre TQM, TPM, TOC, *Lean* e Seis Sigma contrapondo essas abordagens com o modelo de produção Fordista. Verificou-se que: i) *Lean* possui um paradigma de manufatura superior baseado na produção puxada em relação à empurrada; ii) é possível desenvolver modelos integrando *Lean* e as filosofias de gerenciamento da qualidade; iii) a combinação da TOC com outras abordagens indica resultados superiores em relação aos demais modelos. Nave (2002) comparou Teoria das Restrições, *Lean Manufacturing* e Seis Sigma e identificou pressupostos comuns entre as três filosofias, obstáculos que impedem a implantação e apontou o maior desafio para as organizações passa por escolher os pontos fortes de cada abordagem.

Segundo Ghinato (1996) o Sistema Toyota de Produção (Toyota Production System – TPS) tem sido mais recentemente referenciado como Sistema de Produção Enxuta). O termo “*Lean*” foi cunhado no livro “A Máquina que Mudou o Mundo” de Womack, Jones e Roos (1992), como resultado de um amplo estudo sobre a indústria automobilística mundial realizada pelo MIT. Os 5 princípios do *Lean*, segundo Womack e Jones (1996) são:

1. Precisamente especificar o valor por produto específico;
2. Identificar o fluxo de valor para cada produto;
3. Faça o valor fluir sem interrupções;
4. Puxar;
5. Buscar a perfeição.

Já a Teoria das Restrições (*Theory of Constraints-TOC*) pode ser entendida a partir dos seguintes componentes (COX & SPENCER, 2002):

- a) Uma abordagem Logística e de Operações, que envolve os seguintes métodos: i) Os cinco passos envolvendo o foco na melhoria dos processos; ii) O processo de programação da produção envolvendo o gerenciamento via a lógica TPC (Tambor, Pulmão e Corda) e o gerenciamento dos pulmões no sistema produtivo; e iii) A análise dos sistemas produtivos adotando a classificação V-A-T;
- b) A proposição de um Sistema de Indicadores de Performance, que passa pela: i) Definição dos Ganhos, Inventários e Despesas Operacionais da Empresa; ii) Definição do mix de produtos que deverá ser produzido visando maximizar os resultados; e iii) A lógica dos Ganhos por dia e dos Inventários por dia;

c) E por fim, a TOC pode ser entendida como um Processo de Pensamento visando à solução de problemas, que envolve as seguintes técnicas: i) Os diagramas de efeito-causa-efeito, que são: a Árvore da Realidade Atual, Árvore da Realidade Futura, Árvore dos Pré-Requisitos e Árvore de Transição; ii) O método da Evaporação das Nuvens.

Já o Seis Sigma é focado na redução da variabilidade e na melhoria dos processos usando um conjunto de ferramentas estatísticas (NAVE, 2002). Para Aboelmaged (2009) é uma estratégia gerencial disciplinada, quantitativa que visa aumentar os lucros da organização melhorando a qualidade de produtos e processos. O Seis Sigma segue os cinco passos da estrutura DMAIC que é uma consequência direta do ciclo PDCA de Shewhart, defendida por Deming como um quadro ideal para a implementação de melhoria contínua. Suas etapas são:

- *Define* (Definir): definir com precisão o escopo do projeto;
- *Measure* (Medir): determinar a localização ou foco do problema;
- *Analyze* (Analisar): determinar as causas do problema prioritário;
- *Improve* (Melhorar): propor, avaliar e implementar soluções para o problema prioritário;
- *Control* (Controlar): garantir que o alcance da meta seja mantido a longo prazo.

2. Comparando *Lean Manufacturing* e Seis Sigma

Para Arnheiter & Maleyeff (2005) *Lean* e Seis Sigma implementam uma cultura de melhoria contínua em todos os níveis dentro da organização. E a vantagem do uso integrado reside na abordagem mais científica e quantitativa de qualidade fornecida pelo Seis Sigma, em relação às técnicas do *Lean*. Os projetos Seis Sigma focalizam seus esforços em reduzir a variação a partir da proposta padrão, o que pode levar a não focar nas exigências do cliente, mas apenas num exercício de redução de custos. Por isso sugere-se em paralelo adotar a visão de fluxo do *Lean* (BENDELL, 2006). Para Harrison (2006) o uso das abordagens de forma isoladas pode não ser eficaz, sob pena de criar duas sub-culturas dentro da organização, competindo pelos mesmos recursos.

Há um limite de integração porque a estratégia utilizada para a melhoria depende do problema a ser resolvido, e portanto, deve haver alinhamento entre as duas abordagens para obter resultados eficazes (BAÑUELAS & ANTONY, 2004). Para Sharma (2003), o Seis Sigma deve ser utilizado para impulsionar a implementação dos esforços *Lean*. Para Bendell (2006) o equilíbrio reside na criação de valor sob o ponto de vista do cliente, de forma a focar o mercado ao mesmo tempo reduzir a variação para níveis aceitáveis, reduzindo custos. Os dois paradigmas são catalisadores da mudança e podem representar um instrumento excepcionalmente poderoso, alinhando os aspectos culturais do *Lean* com os projetos Seis Sigma há o potencial enorme de uma abordagem sustentável de mudança organizacional e melhoria de processos.

Para Snee (2010) o Seis Sigma é normalmente usado para resolver problemas complexos para os quais a solução é desconhecida. É fundamental lembrar que o objetivo é obter as causas do baixo desempenho, e não apenas centrar-se nos sintomas e nesse caso a visão de fluxo do *Lean* contribui para o uso do Seis Sigma e sugere-se o uso simultâneo. Snee (2010) enumerou oito características-chaves que contribuem para o desempenho ao se aplicar sinergicamente

Lean e Seis Sigma: criam resultados financeiros, ativam o envolvimento da alta liderança, usa uma abordagem disciplinada (DMAIC), projetos são finalizados rapidamente, definição clara de sucesso, infra-estrutura humana criada (*green, black e master black belts*), foco nos clientes e processos e o uso de uma abordagem estatística.

Para Montgomery (2010) projetos de melhoria *Lean* podem ser gerenciados usando DMAIC e o autor defende o uso do Seis Sigma e do *Lean* como um modelo que resgata a filosofia de melhoria contínua e o sistema de conhecimento profundo proposto por Deming. Higgins (2005) diferencia os dois sistemas argumentando que o Seis Sigma é executado por poucos indivíduos específicos dentro de uma empresa, enquanto que no *Lean* a capacitação envolve todos os níveis da organização para identificar e eliminar atividades sem valor agregado.

Arnheiter & Maleyeff (2005) apontam os seguintes aspectos entre as abordagens: as empresas *Lean* devem adotar o uso de dados quantitativos para tomar decisões e uma abordagem mais científica para a qualidade dentro do sistema. Enquanto que empresas que usam Seis Sigma, precisam de uma abordagem mais ampla dos sistemas, considerando os efeitos do desperdício no sistema como um todo. Bendell (2006) cita que *Lean* e Seis Sigma se tornaram filosofias mal definidas resultando redução da eficácia como ferramentas e muitas vezes as metodologias apresentadas são colocadas juntas sem uma explicação lógica, sem nenhuma base teórica ou explicação para a escolha das técnicas. Spector & West (2006) salientam que ao adotar o *Lean* e Seis Sigma os profissionais podem encontrar um número grande de projetos que com resultados insuficientes para quantidade de tempo necessário para finalizá-los. Para Bendell (2006) é necessário se fazer ajustes nas duas abordagens de forma que possam resolver efetivamente os problemas enfrentados por uma organização e a questão resume-se em como usá-las de maneira integrada. Seis Sigma complementa a filosofia *Lean*, fornecendo ferramentas e know-how para resolver problemas específicos que são identificados ao longo da jornada *Lean*. Mika (2006) assume a posição de que as duas abordagens são incompatíveis porque o Seis Sigma não pode ser adotado pelo trabalhador médio da produção e argumenta que o *Lean* é acessível para estes trabalhadores ao incentiva o trabalho em equipe através de equipes multifuncionais.

As desconfiças sobre a filosofia *Lean* devem-se à maneira míope de implementação; por exemplo, a redução dos níveis de inventário não pode ser aplicada em ambientes de alta variabilidade e por isso, uma abordagem sistemática precisa ser adotada para otimizar todo o sistema e concentrar as estratégias certas nos lugares corretos (PEPPER & SPEDDING, 2010). *Lean* e Seis Sigma devem ser vistos como a plataforma para o início da mudança cultural e operacional, levando à transformação total da cadeia de abastecimento. Bendell (2006) cita que uma deficiência fundamental do Seis Sigma e *Lean* é a frequente falta de alinhamento com a política da organização. Apesar da origem do Seis Sigma e do *Lean* defender a satisfação do cliente, muitos projetos são escolhidos pelo custo baixo de implementação. Concentrando-se no controle e na redução da variação e do desperdício, o custo pode ser reduzido e a satisfação dos clientes pode ser aumentada (BENDELL, 2006). Segundo Snee (2010) a natureza do problema, é que define a escolha da abordagem e das ferramentas a serem usadas. Para alteração do processo ou da variação do processo é adequado usar o Seis Sigma e nos casos de melhoria no fluxo de processo, de informações, de materiais ou redução da complexidade é indicado o uso do *Lean*. Porém, segundo ao autor, ambas podem ser usadas para redução de perdas, de valor não-agregado e de tempo de ciclo. Uma alternativa para combinar as duas metodologias consiste em subordinar uma abordagem deixando outra como dominante. Uma série de grandes empresas em programas Seis Sigma

colocam *Lean* em um grupo de ferramentas adicionais dentro do programa Seis Sigma. Porém, o oposto não é tão comum (BENDELL, 2006).

As principais considerações para a construção de um novo modelo global integrando *Lean* e Seis Sigma, para Pepper & Spedding (2010) são: o modelo deve ser estratégico e focado em processos, o modelo deverá ter um balanceamento entre as duas filosofias aproveitando as reconhecidas vantagens de ambas, o modelo deverá ter equilíbrio entre a complexidade e a sua sustentabilidade, o modelo deve ser estruturado sobre o tipo de problema ocorrido. Nessa proposta de modelo, *Lean* reforça a filosofia da estrutura e fornece direção estratégica para a melhoria, orientando a dinâmica geral do sistema e informando o estado atual das operações. *Lean* identifica as áreas fundamentais para a melhoria ("*hot spots*"). Após serem identificados os pontos críticos usam-se projetos Seis Sigma para focar na melhoria e conduzir o sistema para o estado futuro desejado. No modelo proposto por Snee (2010) o primeiro ponto de análise é o próprio negócio onde a necessidade do cliente é verificada: nessa análise é percebido se é preciso projetos de melhorias no sistema atual ou um sistema puxado *Lean* para atender o mercado. Para cada fluxo há a escolha da abordagem a ser usada e a última etapa do modelo é a aplicação do *Lean* e Seis Sigma para estabelecer a melhoria contínua do desempenho do negócio.

3. Comparando TOC e Seis Sigma

Seis Sigma identifica projetos orientados para redução de defeitos no processo e para melhorias operacionais, todavia, não envolve integralmente os operadores e não possui uma visão de avaliação global para entender como esses projetos irão afetar a performance global do sistema. E isso pode levar não só à priorização de projetos sem impactos globais no sistema como também à eliminação dos impactos positivos em outros processos (HUSBY, 2007). Por outro lado, Husby (2007) argumenta que os cinco passos de focalização da TOC podem complementar essa lacuna e que o processo de pensamento da TOC para análise e solução de problemas usa uma linguagem intelectual complexa exigindo a condução por especialistas treinados e uma diferente abordagem para operadores e gerência.

Para Jin *et al.* (2009), o foco do Seis Sigma é o cliente e o da TOC é a empresa e apesar de serem filosofias diferentes, ambas estão sendo usadas por diversas indústrias em processos de melhoria porque enquanto o Seis Sigma exige soluções em profundidade, a TOC pode revelar os gargalos e elevá-los. Para Nave (2002) a forma comum de integração entre TOC e Seis Sigma consiste em identificar a restrição da empresa e usar o Seis Sigma para reduzir a sua variação ou resolver o problema. Segundo Jin *et al.* (2009), as vantagens dessa forma integrada são: i) a restrição é analisada, medida e controlada por um conjunto de ferramentas estatísticas ampliando a compreensão do problema e as decisões; ii) o gargalo é o primeiro ponto a ser analisado, gerando assim aumento de ganho pela empresa; iii) o projeto Seis Sigma não será escolhido por uma única área de negócios e sim pela visão global da TOC que vai ligar os resultados do projeto em todo sistema. Já as desvantagens seriam: i) nem sempre a redução implica elevar a capacidade da restrição; ii) quando a redução da variação elevar taxa de produção do gargalo aumenta, os processos à jusante do gargalo podem gerar maiores índices de rejeições já que o foco foi colocado apenas no gargalo; iii) é mais indicado aplicar os princípios da TOC e depois o projeto Seis sigma ou o contrário?

Para Ehie & Sheu (2005) há semelhanças entre os processos de melhoria Seis Sigma (DMAIC) e da TOC (Cinco Passos de Focalização). Os autores propuseram um modelo

integrado. Nesse modelo a etapa 1 de identificação da restrição é a mesma (Definir do DMAIC e identificar dos 5 passos de focalização da TOC); a etapa 2 segue a lógica da TOC para explorar a capacidade usando as fases Medir e Analisar do Seis Sigma como apoio; a etapa 3 também segue a lógica da TOC para explorar a capacidade usando a etapa *Improve* do Seis Sigma e suas ferramentas estatísticas para eliminar os problemas e as causas apontadas na etapa 2; a etapa 4 usa o passo Subordinar da TOC e o Controlar do Seis Sigma para garantir que todas as ações tomadas anteriormente sejam aplicadas no sistema; na etapa 5 são realizados esforços para elevar a capacidade da restrição e a etapa 6 avalia a próxima restrição para evitar a inércia do sistema. Para aperfeiçoar o modelo os autores sugerem incorporar o Processo de Pensamento da TOC para compreender as interações causa-efeito no sistema bem como adicionar outras abordagens voltadas à melhoria contínua. A partir da análise dos dois modelos de integração verificou-se que, enquanto o modelo proposto por Jin *et al.* (2009) propõem a aplicação de forma individualizada e bem definida das etapas dos 5 Passos de Focalização da TOC e do DMAIC do Seis Sigma, o modelo proposto por Ehie & Sheu (2005) agrupa sinergicamente algumas etapas dos 5 Passos de Focalização e do DMAIC.

4. Comparando TOC e *Lean*

Dettmer (2001) indicou os seguintes pontos de similaridade entre as duas abordagens: i) possuem o objetivo comum de aumentar lucros; ii) o valor é definido pelo cliente; iii) o fator qualidade é essencial para ambas; iv) preconizam a produção em lotes menores; v) visam o fluxo contínuo e o aumento da capacidade; vi) buscam a minimização do inventário; e vii) a participação da força de trabalho cumpre papel relevante no sucesso do desdobramento do método e das ferramentas. Antunes (1998), em busca de um modelo geral, após uma extensa análise cita que as lógicas propostas pela TOC e da produção enxuta apresentam elevado grau de concordância, à medida que propõem a visão do sistema produtivo como um todo. As principais convergências citadas pelo autor são: i) foram inicialmente construídas para Indústrias de Forma e de montagem do tipo A; ii) têm em seu centro duas preocupações centrais: a necessidade da sincronização da produção e do estabelecimento de um processo sistemático de melhorias contínuas a partir da situação existente; iii) possuem técnicas específicas para abordar a problemática da sincronização. No caso da TOC a lógica do Tambor-Pulmão-Corda (TPC) e no caso do Sistema Toyota de Produção (STP) o *Kanban*; iv) são preocupadas com a melhoria contínua dos Sistemas Produtivos. Na TOC isto aparece no passo 4 (elevar a capacidade das restrições) a partir da análise já feita no passo 1 da TOC (identificar as restrições). Já o STP é um sistema completamente voltado às melhorias, já que foi desenvolvido a partir desta perspectiva; v) há a possibilidade de uso sinérgico da logística da Teoria das Restrições e dos subsistemas (e técnicas do STP) para implantar melhorias efetivas nas empresas consideradas; vi) sustentam a importância de vencer a inércia para a implantação das novas idéias; esse aspecto é considerado um tema central nas duas abordagens; vii) fazem uma crítica sistemática à utilização da contabilidade de custos tradicional para efeitos de tomada de decisão; viii) enfatizam a importância de vencer a inércia para a implantação das novas idéias; ix) usam um embasamento científico comum através de relações do tipo efeito-causa-efeito e o pensamento dialético para a Identificação, Análise e Solução de Problemas.

Para Scheinkopf & Moore (2004) os pontos de aproximação entre TOC e *Lean* são: i) percepção de valor pela perspectiva do cliente: no *Lean* o valor é claramente definido pelo cliente e na TOC a percepção de valor do cliente é fator determinante para o aumento do ganho; ii) fluxo de valor: o *Lean* adota o termo fluxo de valor e a TOC o termo valor

adicionado para explicitar que o valor percebido pelo cliente é definida por uma cadeia de interdependências entre a fábrica e os fornecedores; iii) fluxo e produção puxada: oferecem técnicas para controlar fluxo usando o conceito de puxar a demanda do mercado. O *Lean* puxa sequencialmente, já que o recurso não deve produzir até receber o sinal (*Kanban*) do recurso à jusante. Puxar é a essência do TPC para sincronizar o gargalo com a demanda do mercado e promover a liberação de material no sistema; iv) busca pela perfeição: segundo Goldratt (1984) uma organização só irá prosperar a partir de mudanças, a partir da melhoria contínua. Essa idéia está expressa no passo 5 do Processo de Focalização. E no *Lean*, a filosofia *Kaizen* é quem promove a cultura da melhoria contínua.

Segundo Dettmer (2001) a TOC e *Lean* evoluíram para uma filosofia de visão sistêmica e sugere que o modelo híbrido das duas abordagens é mais robusto, produtivo e de mais fácil implementação e o aspecto principal está na seleção dos aspectos para o modelo. O autor sugere os seguintes pontos de congruência: i) são metodologias de sistemas; ii) a melhoria contínua e o fluxo contínuo são essenciais; iii) objetivam aumento nos lucros e o valor é definido pelo cliente; iv) o fluxo de valor se estende para além da produção; v) a qualidade é essencial; vi) produção em pequenos lotes; vii) produção puxada (*Make-To-Order* ao invés de *Make-To-Stock*) e minimizam o inventário; viii) liberam capacidades escondidas; ix) o envolvimento da força de trabalho é fator chave. Entretanto, Dettmer (2001) propõe que as maiores diferenças residem em dois aspectos: como cada um trata a variabilidade e a incerteza e na forma como cada um trata dos custos.

5. Discussão e análise crítica entre TOC, *Lean* e Seis Sigma

A partir do referencial bibliográfico dos capítulos anteriores e dos estudos comparativos propostos por Michael Pitcher (2010), Nave (2002), Brown *et al.* (2008), Sproull (2009) e Lea & Min (2003), é possível propor uma análise crítica comparativa dos aspectos chaves das três abordagens em discussão, conforme Quadro 1, atendendo assim a um dos propósitos dessa pesquisa.

	TOC	Lean	Seis Sigma
Origem	Goldratt (1984)	Toyota (Toyoda, Ohno and Shingo)	Motorola e General Electric (anos 80)
Teoria	Gerenciar restrições e gerar ganho	Eliminação de perdas e aumento de lucro	Reduzir a variação
Estrutura de aplicação	1. Identificar a restrição 2. Explorar a restrição 3. Subordinar o processo 4. Elevar a restrição 5. Voltar ao passo 1	1. Especificar valor 2. Identificar o fluxo de valor 3. Fluxo 4. Puxar 5. Buscar a perfeição	1. Definir 2. Medir 3. Analisar 4. Melhorar 5. Controlar
Foco	Na restrição.	No fluxo.	No problema.
Meta	Incremento contínuo dos lucros	Maximizar a produtividade	Maximizar resultados do negócio
Pressupostos	Ênfase na velocidade e volume. Análise sistemas existentes. Há interdependência entre os processos.	A redução das perdas aumenta a performance do negócio. Diversas pequenas melhorias são melhores do que a análise global do sistema.	Existe um problema. Ferramentas estatísticas são usadas. Melhoria na taxa de saída do sistema pela redução da variação nos processos.
Efeito primário	Aumenta o ganho rapidamente.	Redução do tempo de fluxo.	Taxa de saída do processo uniforme.
Efeitos secundários	Redução de inventários e perdas. Ganho é o medidor de performance do sistema. Melhoria na qualidade.	Reduz a variabilidade. Gera saídas uniformes do processo. Redução de inventário. Novo sistema contábil. Fluxo é o medidor de performance dos gestores. Melhora a qualidade. Melhora a produtividade.	Reduz as perdas. Gera ganho rapidamente. Reduz inventário. Variabilidade é o medidor de performance dos gestores. Melhora a qualidade. Cultura de mudança.
Deficiências	Ignora partes da organização.	Não aplica ferramentas estatísticas ou sistemas de análises. Foco limitado em perdas.	Não considera a interdependência dentro do sistema. Melhorias de processos feitas de forma independente. Cria elite de empregados
Facilidade de implementação	Maior dificuldade.	Menor dificuldade.	Dificuldade média.
Nível gerencial de aplicação	Alta gerência.	Primeiro nível.	Nível técnico e média gerência.
Efeito sobre a variação	Absorve.	Reduz.	Reduz.
Principais contribuições	Visão sistêmica das restrições.	Puxar, takt time, heijunka, fluxo unitário de peças, mapeamento de fluxo de valor e respeito às pessoas.	Estrutura organizacional com especialistas em melhorias, projetos orientados e quantificação das reduções de custos.
Aspectos do processo	Métrica específicas de contabilidade. Foco sistemático na restrição.	Gerenciamento do fluxo de trabalho pelo JIT. Otimização dos processos.	Ferramentas estatísticas específicas. Terminologias específicas. Estrutura de especialistas específica.
Tamanho de lotes	Lotes maiores para a restrição e menores para não gargalos	Lotes pequenos em todo sistema	Não faz referência
Controle da produção	A Corda do algoritmo Tambor-Pulmão- Corda é usada para liberar material	Kanban aciona a liberação da produção	Não faz referência
Planejamento da produção	Não faz referência	Planejamento detalhado da montagem final. As demais operações são acionadas para atender a montagem através do Kanban.	Planejamento detalhado para a restrição e menos detalhado para não-gargalos.

Quadro 1-Análise crítica comparativa entre TOC, Lean e Seis Sigma. Fonte: autores (2011).

Algumas proposições gerais podem ser colocadas, ao analisar o Quadro 1 sob a perspectiva de integrar as três abordagens em um modelo integrado de melhoria de processos.

Proposição 1: a abordagem da TOC de foco na restrição é superior à visão do *Lean* e do Seis Sigma para tratar a questão da priorização dos esforços de melhoria e de investimentos, pois identifica a restrição de ganho do sistema como um todo.

Proposição 2: o desempenho da abordagem do Seis Sigma para a redução da variabilidade é superior ao do *Lean* e da TOC, pois utiliza um conjunto de técnicas e ferramentas estatísticas robusto como o CEP e DOE.

Proposição 3: as três filosofias sinergicamente possuem uma estrutura fundamental de aplicação organizada em 5 etapas, contribuindo para o entendimento do modelo.

Proposição 4: para a construção de um modelo integrado sugere-se que o Seis Sigma seja usado inicialmente para reduzir a variação da restrição e de todos os processos posicionados após a restrição, para potencializar o desempenho da implementação do *Lean* e da TOC. Essa estratégia tende a minimizar o inventário no fluxo e a não comprometer as saídas após o gargalo, comprometendo o ganho do sistema.

Proposição 5: as três abordagens quando analisadas individualmente não apresentam uma política de gestão integrada, bem como indicadores específicos de controle para cada nível hierárquico da organização. Nesse ponto a discussão da filosofia TQM e do BSC no modelo poderia ser analisada como alternativas.

Proposição 6: o *Lean* é a abordagem que possui mecanismos claros de envolvimento direto dos funcionários de chão de fábrica, cristalizada nos círculos de controle de qualidade. Por isso antes de propor um modelo integrado é preciso que essa lacuna seja resolvida propondo uma forma envolvimento dos empregados com a cultura da TOC e do Seis Sigma, a fim de sustentar a manutenção do modelo integrado.

Proposição 7: qual sistema contábil-financeiro deve ser usado pela organização para sustentar o funcionamento do modelo integrado? Esse ponto não é tratado na literatura e precisa ser respondido a priori. Enquanto que no *Lean* não há evidências suficientes de benefícios pelo uso do tradicional gerenciamento contábil, os dados fornecidos na decisão de projetos Seis Sigma podem contribuir para as tomadas de decisões gerenciais. Já a TOC usa indicadores simplificados de medição (Inventário, Despesa Operacional e Ganho) que não são adequados a todos os setores de uma organização, como marketing, qualidade, etc.

Proposição 8: num modelo integrado, qual será a cultura dominante da empresa? Como criar e como torná-la ativa? As respostas a essas perguntas são fatores críticos e são uma lacuna percebida na literatura. Uma alternativa sugerida seria fazer o mapeamento da cultura atual da empresa, identificá-la com a cultura de uma das três abordagens, para depois adaptar os aspectos das duas abordagens restantes na cultura vigente. Pesquisas nesse sentido são necessárias.

Proposição 9: uma das fraquezas do Seis Sigma é que os métodos estatísticos usados não são adequados para a análise de problemas de integração do sistema e interdependências. Nesse caso, o *Lean* preenche essa fraqueza com a abordagem integrada de melhoria do mapeamento de fluxo de valor e no foco para maximizar a taxa de valor agregado e a TOC oferece a visão sistêmica do processo diferenciando recursos gargalo de não-gargalos.

Proposição 10: ao enfatizar a exploração da restrição, a TOC pode aceitar e tolerar um excesso de não-restrições dentro dos processos que podem afetar o desempenho do sistema. Para amenizar esse efeito pode-se usar o mapeamento de fluxo de valor e o foco na maximização na taxa de valor agregado do *Lean* e o gerenciamento baseados em dados resultantes das análises do Seis Sigma.

6. Conclusões e trabalhos futuros

Esse trabalho buscou analisar os pontos de convergência e de exclusão existentes entre Teoria das Restrições, *Lean Manufacturing* e Seis Sigma quando usados em um modelo de melhoria contínua de processos em sistemas de manufatura. A discussão apresentada também tentou contribuir para o melhor entendimento sobre os princípios fundamentais de tais metodologias, realizando uma análise comparativa de aspectos considerados críticos. Após as análises realizadas, verificou-se que os objetivos de analisar os pontos de convergência e de exclusão existentes entre as três abordagens e de contribuir para o melhor entendimento sobre seus princípios fundamentais foram atendidos. Constatou-se de forma geral, que há mais pontos de sobreposição do que aspectos de exclusão entre as três abordagens e que é viável pensar na construção de um modelo integrado voltado para melhoria contínua de processos que aumente a competitividade tornando mais robustas as atuais estratégias. Entretanto, há fatores críticos que devem ser considerados na construção do modelo, sem os quais o desenvolvimento de um modelo holístico perde em robustez. Percebeu-se que a discussão já realizada na literatura ainda não apresenta uma definição clara sobre tais aspectos:

- como escolher os elementos corretos de cada abordagem de acordo com a real necessidade da organização (Reduzir a variabilidade? Reduzir perdas e melhorar o fluxo? Remover as restrições?);
- o correto diagnóstico sobre a cultura, objetivos, fraquezas e forças da organização;
- a quebra de alguns modelos mentais: o não envolvimento efetivo dos operadores resultante na cultura da TOC e do Seis Sigma;
- os princípios de construção do modelo devem estar alinhados com a estratégia da empresa;

Num âmbito geral, o resultado desse estudo mostrou que a Teoria das Restrições, o *Lean Manufacturing* e o Seis Sigma possuem aspectos complementares e que há um vasto campo aberto para pesquisas sobre o tema. Com o propósito de avançar na discussão visando o entendimento profundo das inter-relações entre as abordagens ou ainda avaliando a contribuição de outras abordagens, emergem a seguinte agenda de pesquisa para trabalhos futuros: quais indicadores devem ser usados para medir o desempenho do modelo integrado e como estruturá-los em quais níveis da organização? Qual sistema de gerenciamento contábil deve ser usado no modelo? Qual será a cultura dominante da empresa e como construí-la? Qual técnica de programação da produção é melhor (Kanban ou TPC) e em quais ambientes deve-se usar essa ou aquela?

Referencial teórico

ANTUNES JR., J.: *Em direção a uma teoria geral do processo na administração da produção: uma discussão sobre a possibilidade de unificação da teoria das restrições e a teoria que sustenta a construção dos sistemas de produção com estoque zero.* Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Administração, UFRGS, Porto Alegre, RS, 1998.

BAÑUELAS, R. ; ANTONY, J. Six sigma or design for six sigma? *The TQM Magazine*, Vol. 16 No. 4, pp. 250-263, 2004.

BENDELLI, T. A review and comparison of six sigma and the lean organization, *The TQM Magazine*, Vol. 18 No. 3, pp. 255-62, 2006.

BIH-RU LEA; MIN, H. Selection of management accounting systems in Just-In-Time and Theory of Constraints-based manufacturing. *International Journal of Production Research*, vol. 41, no. 13, 2879–2910, 2003.

BROWN,A.; EATOCK, J.; DIXON, D.; MEENAN,B.; ANDERSON,J. Quality and continuous improvement in medical device manufacturing. *The TQM Magazine* , Vol. 20 No. 6, pp. 541-555, 2008.

COX, J. ; SPENCER, M.S. *Manual da Teoria das Restrições*, Bookman, Porto Alegre,2002.

DETTMER, W. Beyond Lean Manufacturing:Combining Lean and the Theory of Constraints for Higher Performance. *Goal System International*, Port Angeles, WA, USA. 2001.

EDWARD D. A.; MALEYEFF, J. The integration of lean management and Six Sigma *The TQM Magazine*.e Vol. 17 No. 1 pp. 5-18, 2005.

EHIE, I. ;SHEU,J. Integrating six sigma and theory of constraints for continuous improvement: a case study. *Journal of Manufacturing Technology Management* .Vol. 16 No. 5 pp. 542-553, 2005.

GHINATO, P. *Sistema Toyota de produção: mais do que simplesmente Just-In-Time*. Caxias do Sul: Editora da Universidade de Caxias do Sul, 1996.

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

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*, Vol. 37, 2009.

MIKA, G. Six Sigma isn't lean. *Manufacturing Engineering*, Vol. 137 No. 1, 2006.

MONTGOMERY D.C. A modern framework for achieving enterprise excellence International , *Journal of Lean Six Sigma*, Vol. 1 No. 1, pp. 56-65, 2010.

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*,pp. 73-79,2002.

PEPPER M.P.J. and T.A. SPEDDING. The evolution of lean Six Sigma.*International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 27 No. 2, pp. 138-155, 2010.

PITCHER,M. The Challenge of Overcoming Success March *ASQ Magazine*, pp. 1-4, 2010.

ROTHER, M. e JOHN, S. *Aprendendo a Enxergar: Mapeamento do Fluxo de Valor para adicionar valor e eliminar os desperdícios*. São Paulo-SP, Lean Institute Brasil, 1998.

SHINGO, S. *O Sistema Toyota de Produção: Do ponto de vista da engenharia de produção*. Bookman, 1996a.

SNEE R. D. Lean Six Sigma – getting better all the time, *International Journal of Lean Six Sigma*, Vol. 1 No. 1, pp. 9-29, 2010.

SPROULL B. *The Ultimate Improvement Cycle – Maximizing Profits Through the Integration of Lean, Six Sigma, and the Theory of Constraints* – CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL, 2009.

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.

WOMACK, JAMES P. ; DANIEL, J. *A Mentalidade Enxuta*. Editora Campus, 1996.