

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE LORENA**

CAIO REZENDE ARANTES

**CONSIDERAÇÕES SOBRE A METODOLOGIA DMAIC EM PROJETOS
LEAN SEIS SIGMA: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Lorena
2014

CAIO REZENDE ARANTES

**CONSIDERAÇÕES SOBRE A METODOLOGIA DMAIC EM PROJETOS
LEAN SEIS SIGMA: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Monografia apresentada à Escola de Engenharia de Lorena – EEL-USP como requisito parcial para a conclusão de Graduação do curso de Engenharia Química.

Área de Concentração: Produtividade

Orientador: Prof. Dr. Humberto Felipe da Silva.

Lorena
2014

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Catálogo na Publicação

Chefia Técnica - Biblioteca

Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo

Arantes, Caio Rezende

Considerações sobre a Metodologia DMAIC em Projetos Lean Seis Sigma: uma revisão bibliográfica / Caio Rezende Arantes. Lorena: 2014.

48f.

Monografia apresentada como requisito parcial para a conclusão de Graduação do Curso de Engenharia Química. Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo.

.Orientador : Humberto Felipe da Silva.

1. Manufatura enxuta 2. Administração da qualidade 3. Administração da produção I. Silva, Humberto Felipe da, orient.

RESUMO

ARANTES, C. R. **Considerações sobre a Metodologia DMAIC em Projetos Lean Seis Sigma: Uma Revisão Bibliográfica.** 2014. 48f. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia) – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2014.

Resumo sem parágrafos

Este trabalho aborda as filosofias *Lean Manufacturing* e Seis Sigma para o alcance da excelência operacional, assim como a metodologia DMAIC (*Define Measure Analyze Improve Control* ou Definie Medir Analisar Melhorar Controlar) para resolução de problemas, através de uma Revisão Bibliográfica do tema e comparação com a experiência prática do pesquisador. As duas filosofias, *Lean* e Seis Sigma, hoje amplamente difundidas, se tornaram mais que sistemas ou ferramentas de melhoria contínua. São adotadas como forma de pensamento e trabalho, que começaram na produção de grandes indústrias como Motorola e General Eletric, para atingir também ambientes transacionais de empresas de todos os portes e das mais diferentes atividades. O DMAIC hoje é uma metodologia largamente utilizada nas grandes indústrias, e provê uma forma estruturada, robusta e eficiente na resolução de problemas e, principalmente, na diminuição da variabilidade dos processos. Embora difundido, o DMAIC necessita de atenção na sua utilização para garantir a perenidade da metodologia, que busca através de suas ferramentas a excelência operacional.

PALAVRAS-CHAVE: Lean. Seis Sigma. DMAIC. Excelência Operacional

ABSTRACT

ARANTES, C. R. **Considerations about the DMAIC methodology in Lean Six Sigma Projects: a Literature Review.** 2014. 48f. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia) – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2014.

The present work approach Lean Manufacturing and Six Sigma philosophies to operational excellence achievement and the DMAIC (Define Measure Analyze Improve Control) methodology for solving problems, through a literature review and comparing with the practical knowledge of the author.

Both philosophies, Lean and Six Sigma, nowadays widely used, have become more than systems or tools for continuous improvement. They are methods of thinking and working, which have started in manufacturing areas of large companies such as Motorola and General Eletric to also transactional areas of companies worldwide, of all sizes and lines of work.

Nowadays, in the large companies, DMAIC is a widely used methodology, and it provides an organized, robust and efficient way for problem solving and, mainly, to decrease variability at the processes. Although widespread, DMAIC needs attention in its use to ensure the perennity of the methodology, which seeks, through its tools, the operational excellence.

KEYWORDS: Lean. Six Sigma. DMAIC. Operational Excellence.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação gráfica de <i>Cycle Time</i> e <i>Lead Time</i>	13
Figura 2 - Representação gráfica de <i>Lead Time</i>	13
Figura 3 - Agrupamento de produtos em famílias	19
Figura 4 - Mapa do Estado Atual.....	20
Figura 5 - Mapa do estado futuro	21
Figura 6 - Curva Normal Típica	25
Figura 7 - Estrutura básica para a implementação do <i>Lean Seis Sigma</i>	28
Figura 8 - Correspondência entre método DMAIC e o Ciclo PDCA	28
Figura 9 - <i>Charter</i> de projeto Seis Sigma	31
Figura 10- Diagrama de Causa e Efeito	35
Figura 11- Contribuição do <i>Lean</i> e do Seis Sigma na melhoria dos processos	39
Figura 12 - Integração <i>Lean Seis Sigma</i>	40

LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

DMAIC – *Define Measure Analyze Improve Control*

DOE – *Design Of Experiments*

FMEA – *Failure Mode and Effect Analysis*

JIT – *Just In Time*

PDCA – *Plan Do Check Act*

SIPOC – *Suppliers Inputs Process Outputs Customer*

STP – *Sistema Toyota de Produção*

VOC – *Voice Of the Customer*

VSM – *Value Stream Mapping*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	9
1.1	OBJETIVO	9
1.2	JUSTIFICATIVA	10
2	LEAN MANUFACTURING OU MANUFATURA ENXUTA.....	12
3	SEIS SIGMA.....	24
3.1	DMAIC (<i>Define Measure Analyze Improve Control</i> ou Definir Medir Analisar Melhorar e Controlar).....	28
4	LEAN SEIS SIGMA	39
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
	REFERÊNCIAS.....	45

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho foi idealizado a partir do período de estágio do autor em áreas de excelência operacional de duas multinacionais diferentes.

A primeira é uma multinacional alemã, presente em mais de 80 países e com faturamento anual na ordem de 73,97 bilhões de euros em 2013, e que atua nos mais variados segmentos químicos (petróleo e gás, agroquímicos, químicos para construção e etc.), onde a experiência foi focada na difusão da cultura de excelência operacional através da multiplicação do *Lean Manufacturing* e Seis Sigma a partir de projetos DMAIC, treinamentos, aplicação de ferramentas e captação dos *savings* gerados.

A segunda, uma fábrica de dispositivos médicos americana com faturamento anual na ordem de 65 bilhões de dólares em 2011, com grande maturidade na adoção do *Lean Manufacturing* e do Seis Sigma para reduzir custos e implementar melhorias, onde o autor pode acompanhar de perto o processo de gerenciamento de novas ideias para projetos, priorização e gestão dos recursos nos mesmos, bem como auditorias *Lean* e avaliação do nível de maturidade em cada metodologia.

1.1 OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo geral contribuir para o melhor entendimento do DMAIC e do *Lean Seis Sigma*, analisando alguns aspectos de sua utilização.

Para isso, terá como objetivos específicos:

- Fazer uma revisão bibliográfica que traga entendimento de tal metodologia, assim como do *Lean Seis Sigma*.

- Aliar a teoria estudada com a experiência prática do pesquisador, desenvolvida em áreas de excelência operacional de duas diferentes multinacionais.

1.2 JUSTIFICATIVA

Com a crescente globalização e a concorrência de países que possuem custos de operações extremamente competitivos, empresas do mundo todo vêm sendo desafiadas a diminuir seus custos sem impactar na qualidade dos seus produtos (ROY et al, 2013). Estas empresas cada vez mais adotam como estratégia e filosofia, o Lean Seis Sigma.

O *Lean Manufacturing*, já está consagrado pelas maiores companhias do mundo, como maneira de trazer qualidade para os processos, diminuir desperdícios e custos, ou seja, fazer sempre mais com menos. Menos tempo, menos recursos humanos, menos dinheiro e menos matéria prima.

De acordo com Hines e Taylor (2000), em uma manufatura apenas 5% do tempo é dedicado a atividades que realmente agregam valor ao produto, enquanto 60% se destinam a atividades que não agregam (os outros 35% são de atividades que não agregam valor, porém são fundamentais).

O Seis Sigma, reconhecidamente uma metodologia de sucesso, como forma de diminuir variabilidade dos processos, produzir melhor e com mais qualidade, visando sempre o zero defeito. Os projetos *Lean Seis Sigma*, através da metodologia DMAIC (*Define Measure Analyze Improve Control* ou Definir Medir Analisar Melhorar Controlar), permitem de forma simples e disciplinada a utilização de ferramentas que impactam na qualidade dos produtos e processos, e também na velocidade de sua fabricação. As principais consequências da aplicação das filosofias *Lean Seis Sigma* são:

- Agrega valor ao produto do ponto de vista do cliente, atendendo melhor, mais rápido e com mais qualidade;

- Melhora o clima organizacional, através da simplificação dos processos, engajamento das pessoas, fomentando a cultura de Melhoria Contínua e até melhoria da segurança.
- Trazer competitividade para a empresa através da Melhoria Continua dos processos, reduzindo custos e aumentando sua eficiência.

Sendo assim, este trabalho visa discorrer sobre as metodologias *Lean* e *Seis Sigma*, comparando a teoria com a visão prática do pesquisador.

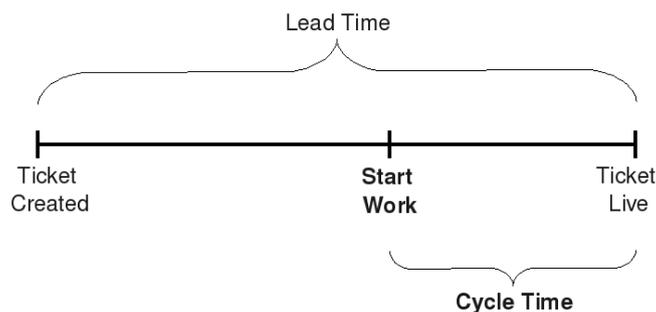
2 LEAN MANUFACTURING OU MANUFATURA ENXUTA

Em uma organização, a manufatura representa a verdadeira anatomia da operação, isto é, o coração, esqueleto, nervos, enfim, o que realmente sustenta uma empresa. Uma manufatura eficiente traz versatilidade, robustez e fôlego para uma empresa responder às necessidades do cliente, do mercado e aos ataques da concorrência (SLACK, 2002).

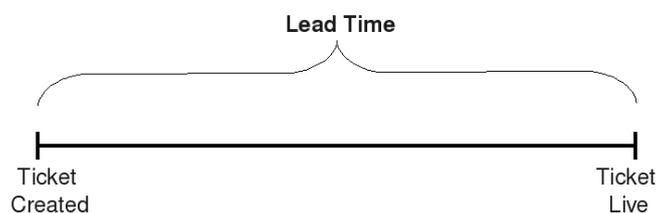
Pode-se classificar a produção em duas maneiras diferentes: A produção puxada e a produção empurrada. Em um sistema de produção tradicional, ou empurrado, a manufatura produz de acordo com um planejamento de demanda, que faz um estudo de mercado a fim de prever a demanda do produto acabado. Neste sistema a manufatura produz continuamente de acordo com as previsões feitas pelo departamento de planejamento. Conseqüentemente, cada etapa do processo produz sem levar em conta a capacidade de absorção do cliente, podendo ser o cliente final ou o próximo processo. Isto ocasiona esperas, estoques altos e tempo ocioso (SLACK et al., 2009; FREIRE, 2008).

Ainda segundo Slack et al. (2009), em um sistema de produção puxado o cliente atua como único gatilho, e “puxa” o movimento da produção. Após o gatilho ser acionado, cada etapa de produção gera uma demanda para a etapa seguinte, gerando um fluxo puxado.

Segundo Ohno (1997), “o tempo de ciclo é o tempo alocado para fazer uma peça ou unidade. Isso é determinado pela quantidade da produção, ou seja, a quantidade necessária e o tempo da operação.”, conceito que Rother e Shook (1999) simplificam como o tempo entre uma parte produzida e a próxima parte produzida, como representado na Figura 1. Não confundir com *Lead Time*, que é o tempo que uma peça leva para cruzar toda a cadeia de valor, ou seja, do momento do pedido ao momento da entrega (ROTHER; SHOOK, 1999; LEAN ENTERPRISE INSTITUTE, 2011; FREIRE, 2008), como representado na Figura 2.

Figura 1 - Representação gráfica de *Cycle Time* e *Lead Time*

Fonte: ROOCK, S.; Kanban: Definition of Lead Time and Cycle Time. 2010.

Figura 2 - Representação gráfica de *Lead Time*

Fonte: ROOCK, S.; Kanban: Definition of Lead Time and Cycle Time. 2010.

O conceito de qualidade é definido de maneira diferente por vários autores, entretanto todos eles concordam que a qualidade é inerente às necessidades do cliente, e deve acompanhá-las em suas mudanças sempre buscando correspondê-las. (DEMING, 1990; CAMPOS, 1996).

Muito além do impacto que podem ter sobre o cliente, os custos da não-qualidade em uma operação são geralmente subestimados. O custo real da não-qualidade deve incluir o tempo administrativo desperdiçado, a perda de confiança do cliente e das pessoas envolvidas na operação, o tempo para retrabalho, custos de transporte, além da perturbação gerada por todos estes fatores, tornando-se de difícil mensuração mas muito significativo (SLACK et al., 2009).

Crosby (1994) defende sempre a mensuração e a tangibilidade da qualidade. Segundo ele, a qualidade pode ser medida mensurando os custos de não se fazer o certo já na primeira vez. Isto nos leva a enxergar os custos da conformidade como um investimento.

O termo Manufatura Enxuta foi cunhado pelos pesquisadores do *Massachusetts Institute of Technology*, Womack, Jones e Roos, para definir o Sistema Toyota de Produção (STP). O STP utilizava menos recursos, menos tempo e produzia com mais qualidade do que os modelos de produção em massa americanos (WOMACK; JONES; ROOS, 1992).

A criação do STP surgiu naturalmente como uma necessidade no Japão arrasado pela guerra, com falta de crédito, espaço limitado e forte concorrência das indústrias ocidentais. Com isso o país passava por um estado de necessidade de produzir em pequenas quantidades, com grande variedade e eficiência, poucos recursos e pouca demanda, baseando-se em sua cultura de eliminar todo e qualquer desperdício. (OHNO, 1997).

Ohno (1997) simplifica a definição do Sistema Toyota de Produção como sendo a absoluta eliminação desses desperdícios, que são comumente classificados em sete categorias:

- Desperdício de superprodução: produzir sem demanda, acima da quantidade que o cliente absorve. Tem a propriedade de esconder outras perdas;
- Desperdício de espera: trabalhadores à espera por suprimentos, peças, quebras de máquinas e fornecedores (etapa anterior) ou o tempo em que nenhum processamento, transporte ou inspeção é feita no produto;
- Desperdício de transporte: transporte desnecessário de materiais ou do produto semiacabado. Geralmente ocasionados por *layouts* ruins;
- Desperdício de superprocessamento: gerado por etapas desnecessárias, que geram custos que o cliente não está disposto a pagar. Qualidade além da necessária;
- Desperdício de estoque: excesso de estoque de matéria-prima, produto em processamento ou bens acabados. Normalmente esconde a falta de sincronia entre as etapas e causa obsolescência, custos de armazenagem, alto *lead time* e defeitos na armazenagem;

- Desperdício de movimento: trabalhadores se movimentando durante o processamento, alcançando ferramentas ou partes. Também ocasionado por um *layout* pobre.
- Desperdício de defeito: Causado pela produção e processamento de partes defeituosas, assim como inspeções e retrabalhos (OHNO, 1997; LIKER, 2004; WERKEMA, 2006).

Alguns autores, como Liker (2004) e Werkema (2006), apontam ainda um oitavo desperdício, o desperdício de talento, ou desperdício da criatividade do operador, ou seja, é um desperdício não aproveitar potenciais melhorias, habilidades e oportunidades de quem está trabalhando diretamente no processo.

Além da eliminação de desperdícios, a manufatura enxuta confere maior ênfase ao fluxo de valor e na forma como ele deve fluir. O valor deve ser atribuído sob a perspectiva do cliente, deve ocorrer de forma fluida e sob demanda (OHNO, 1997).

Womack, Jones e Roos (1992), apud Nazareno (2008) resumem a mentalidade enxuta em 5 princípios básicos:

1. Determinar precisamente o valor por produto específico. Deve ser feito sob a perspectiva do cliente.
2. Identificar a cadeia de valor para cada produto, todas as etapas, físicas ou transacionais.
3. Fazer o valor fluir sem interrupções. Eliminação dos desperdícios e das atividades que não agregam valor, redução dos erros, dos tempos e espaços ocupados.
4. Deixar com que o cliente puxe o valor do produtor. Deixar que o cliente, externo ou interno (etapa seguinte, por exemplo), puxe a produção conforme suas necessidades, sem produzir em excesso e sem “empurrar” a produção.
5. Buscar a perfeição. Trabalhar para todos os princípios fluírem sem perdas e interrupções.

Para implantação da Manufatura Enxuta, um conceito fundamental, que aborda todas as práticas de melhoria é o *Kaizen* (IMAI, 1988). *Kaizen* é uma filosofia japonesa que significa melhoramento contínuo e envolvendo a todos, seja no trabalho, na sociedade ou em casa. Imai (1988) considera o *Kaizen* como sendo o guarda-chuva que abrange a maioria das práticas, antes exclusivamente japonesas, como *Just In Time*, zero defeito, *jidoka* entre outras.

Na produção enxuta, os pilares que viabilizam a flexibilidade necessária e a produção sob demanda e em pequenos lotes é o *Jidoka* e o *Just In Time* (JABBOUR et al., 2013; OHNO, 1997).

O *Jidoka* é o que os japoneses chamam de “autonomação” ou a automação com um toque humano. Este conceito teve origem no funcionamento dos teares das fábricas japonesas. Os teares tinham dispositivos que interrompiam o seu funcionamento caso alguma atividade estivesse sendo executada incorretamente. Este princípio deu origem ao *poka-yoke*, dispositivos a prova de erros que interrompem automaticamente o processo em caso de defeitos. Princípio este que se alinha ao da manufatura enxuta de eliminar defeitos como desperdício (OHNO, 1997; JABBOUR et al., 2013).

O *Just In Time* (JIT) significa no tempo certo, ou seja, em um determinado processo, as partes necessárias à montagem devem alcançar a linha de produção no momento certo e somente na quantidade que será utilizada, ocasionando, em um processo ideal, em um estoque zero. Ohno idealizou o sistema JIT a partir do sistema de supermercado americano, onde as prateleiras são repostas com frequência e sempre em pequenas quantidades, evitando desperdícios em estoques intermediários. Este modelo veio como alternativa aos sistemas de planejamento de necessidade de materiais tradicionais, que trabalhavam com demandas planejadas, previsões e produção em larga escala (WOMACK; JONES, 2003).

Para um sistema JIT funcionar corretamente é preciso que o modelo de gestão esteja adequado. A produção precisa utilizar de ferramentas que façam o balanceamento da produção (*Heijunka*) e a troca rápida de ferramentas,

permitindo produzir diferentes partes em um espaço curto de tempo (WOMACK; JONES, 2003).

Porém é preciso ter cautela, pois uma empresa que queira optar por este sistema não pode simplesmente desejar que a partir de certo momento, seus fornecedores trabalhem *Just In Time*. É preciso transformar toda a cadeia, alinhando as necessidades reais da produção (OHNO, 1997). Segundo Alves e Santos (2013), as flutuações de demanda são causas de desperdícios, tanto quanto falhas operacionais, impossibilitando a utilização correta da capacidade produtiva e causando atrasos no fornecimento a clientes externos e internos. Isto valida o *Just In Time*, quando utilizado corretamente, como forma de atacar tais desperdícios, alinhando toda a cadeia, de fornecedores a clientes.

A Manufatura Enxuta é implantada através de uma série de ferramentas que promovem a mudança organizacional e a mudança da filosofia necessária. Cada uma destas ferramentas vem com o propósito de trabalhar algum ou alguns dos desperdícios reconhecidos. Segundo Alves e Santos (2013), cabe a empresa buscar a reestruturação e aprimoramento de suas atividades, atacando gradativamente todos os desperdícios supracitados.

São várias as ferramentas utilizadas na implantação do *Lean Manufacturing* (WERKEMA, 2012). Dentre elas está, por exemplo, o 5S, que não pode ser encarado somente como uma ferramenta. O 5S, assim como o próprio *Lean* é uma filosofia e uma mentalidade, muito difundido no Japão que busca maior organização, limpeza, padronização e, conseqüentemente segurança e melhora do clima organizacional (VENKATESWARAN, 2011).

Seu nome deriva de cinco palavras japonesas, cada uma delas representando uma etapa da metodologia. São elas:

1. Seiri – o senso de utilização. Etapa onde é separado tudo aquilo que é essencial do que é desnecessário no ambiente.
2. Seiton – o senso de organização. Etapa onde o ambiente é organizado, identificado e colocado em um *layout* adequado.

3. Seiso – o senso de limpeza. Etapa de limpeza e sanitização. Um ambiente limpo se torna um ambiente mais seguro e melhora o moral daqueles que o compartilham.
4. Seiketsu – o senso de padronização. Etapa de padronização de sinalizações, etiquetas e avisos. Facilita a utilização por aqueles que não são familiares ao ambiente.
5. Shitsuke – o senso da disciplina. Etapa que cuida da sustentabilidade do programa, tornando-o robusto e perene na organização.

O 5S hoje é amplamente difundido, por sua simplicidade e eficiência, não só em multinacionais e manufaturas, mas em empresas de pequeno porte e ambiente transacionais.

Outra ferramenta importante na implementação da Manufatura Enxuta é o *Value Stream Mapping* (VSM) ou Mapeamento de Fluxo de Valor (MARODIN, 2013) que inclusive pode ser o ponto de partida para sua implementação (VENTURA, 2012). Um dos princípios básicos da Manufatura Enxuta é identificar a cadeia de valor para cada produto, cada etapa e processo. E para isso, a forma mais simples e eficiente é a utilização do Mapeamento de Fluxo de Valor (VSM) (WOMACK; JONES; ROOS, 1992; ROTHER; SHOOK, 1999).

Rother e Shook (1999) elaboraram um manual prático, simples e muito eficiente com o propósito de ensinar o Mapeamento de Fluxo de Valor. Com uma simbologia própria e simples, os autores criaram um passo a passo que permite, principalmente, a visão macro da cadeia de valor. Esta visão de toda a cadeia de valor é essencial para identificar oportunidades de redução de desperdícios. Partindo do princípio básico que só se pode melhorar, consertar e buscar a perfeição, daquilo que se pode medir e enxergar, o Mapeamento de Fluxo de Valor permite identificar com clareza quais etapas estão realmente agregando valor ao produto e quais não estão (WOMACK; JONES, 2003).

A metodologia consiste em 4 etapas básicas (SANTOS; GOHR; DOS SANTOS, 2011; ROTHER e SHOOK, 1999)

1. Seleção de uma família de produtos;
2. Mapeamento do estado atual;
3. Mapeamento do estado futuro;
4. Plano de trabalho e implementação.

Quanto a seleção de uma família de produtos, é importante agrupar os produtos em famílias, com produtos que passam pelas mesmas ou quase as mesmas etapas e processos. Rother e Shook exemplificam onde cruzam as famílias de produtos com os processos de montagem de uma linha de produção (Figura 3), ficando visível qual o grupo de famílias seria favorável a aplicação do VSM.

Figura 1 - Agrupamento de produtos em famílias

		Assembly Steps & Equipment							
		1	2	3	4	5	6	7	8
PRODUCTS	A	X	X	X		X	X		
	B	X	X	X	X	X	X		
	C	X	X	X		X	X	X	
	D		X	X	X			X	X
	E		X	X	X			X	X
	F	X		X		X	X	X	
	G	X		X		X	X	X	

A Product Family

Fonte: ROTHER e SHOOK (1999, p6)

O mapeamento do estado atual vem em seguida, e deve ser feito passo a passo, percorrendo toda a cadeia de valor, desde o fornecedor até o cliente, e incluir todos os processos relevantes, necessários, que agregam valor ou não. Ventura (2012) defende que o time que realizará o mapeamento deve ser multidisciplinar, com componentes de diferentes áreas afetadas pelo processo, mas não necessariamente um grande número. O mapeamento do estado atual tem que ser detalhado pois é nesta etapa que se identifica as oportunidades de melhoria. Para isso utiliza-se uma simbologia simples para identificar os processos e suas variáveis como pode ser observado na Figura 4 (VENTURA, 2012).

oscile em demasia, e ocorra somente quando necessário (*Just In Time*) (OHNO, 1997; FREIRE, 2008).

Kanban é um método para operacionalizar o sistema de planejamento e controle puxado da produção, gerindo as autorizações para se movimentar, transferir e produzir materiais (SLACK et al. 2009). Liker e Meier (2006) o simplificam como o “mecanismo que proporciona consciência das necessidades do cliente”. Esta abordagem abrange toda forma de sinalização e comunicação do cliente para o fornecedor, indicando a necessidade de reabastecimento.

Ohno (1997) descreve ainda seis funções e seis regras para a utilização do *Kanban*. São elas:

Funções do *Kanban*:

1. Fornecer informações sobre apanhar ou transportar.
2. Fornecer informações sobre a produção.
3. Impedir a superprodução e o transporte excessivo.
4. Servir como uma ordem de produção afixada às mercadorias.
5. Impedir produtos defeituosos pela identificação do processo que os produz.
6. Revelar problemas existentes e manter o controle de estoques.

Regras para utilização do *Kanban*:

1. O processo subsequente apanha o número de itens indicados pelo *Kanban* no processo precedente.
2. O processo inicial produz itens na quantidade e sequência indicadas pelo *Kanban*.
3. Nenhum item é produzido ou transportado sem um *kanban*.
4. Serve para afixar um *Kanban* às mercadorias.
5. Produtos defeituosos não são enviados para o processo seguinte. O resultado é mercadorias 100% livres de defeitos.
6. Reduzir o número de *Kanban* aumenta sua sensibilidade aos problemas.

De acordo com Womack, Jones e Roos (1992), um dos princípios básicos da Manufatura Enxuta é fazer o valor fluir sem perturbações, sem erros, sem desperdícios e eliminando as atividades que não agregam valor. O *Heijunka* foi a forma que os idealizadores do JIT criaram para nivelar a real demanda dos clientes com a produção, absorvendo suas oscilações de volume e *mix* e permitindo produzir em lotes menores, e evitando desperdícios de espera, superprodução e movimentação (WOMACK; JONES, 2003, SLACK et al. 2009; FREIRE, 2008). Segundo Roy et al. (2013) o balanceamento da produção permite também um aumento significativo de produtividade através da redução de defeitos, focando o operador somente na produção de itens que atendem aos requisitos de qualidade.

Embora muitas ferramentas sejam essenciais à implementação da Manufatura Enxuta, a mudança organizacional e cultural é necessária e imprescindível. Esta mudança é atingida a partir do que é considerado o principal fator de sucesso na implementação da Manufatura Enxuta, o apoio e comprometimento da liderança (MARODIN, 2013).

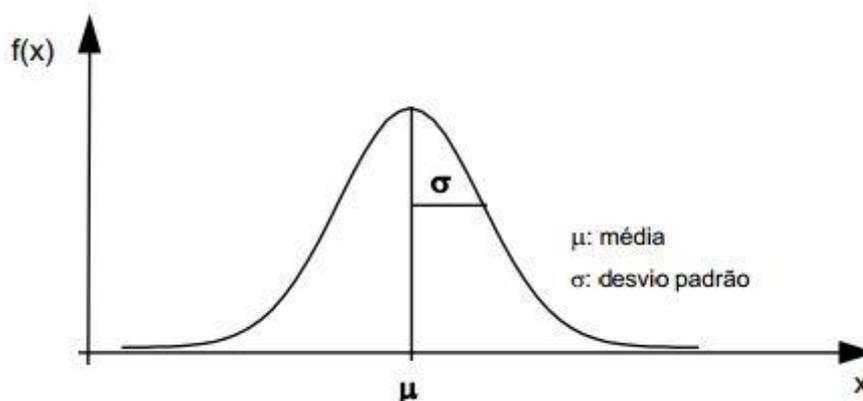
3 SEIS SIGMA

O Seis Sigma é um conjunto de ferramentas e estratégias para melhoria e diminuição da variabilidade de processos, desenvolvido pela Motorola em 1985. A partir da premiação da Motorola com o Prêmio Nacional de Qualidade Malcom Baldrige, o Seis Sigma ficou mundialmente conhecido como principal responsável pelo sucesso da organização. Com a crescente competição com os japoneses na década de 80, empresas americanas buscaram estratégias para se tornarem mais competitivas. O Seis Sigma foi a resposta da Motorola para este cenário. Por exemplo, entre 1996 e 2000, a General Electric obteve um retorno médio de 7,5 bilhões de dólares (SCHROEDER; HARRY, 2000; WERKEMA, 2012). A utilização do Seis Sigma como forma de diminuir a variabilidade dos processos é eficiente e gera economia e, consequentemente, aumenta os lucros (ROY et al, 2013; LIU; LI, 2011).

Werkema (2012) define o Seis Sigma como uma estratégia gerencial altamente disciplinada. Essa disciplina é ponto fundamental em sua aplicação, com decisões baseadas em dados, fundamentalmente estruturadas pela metodologia DMAIC e com alto comprometimento da liderança. Isso destaca o Seis Sigma dentre outras metodologias de resolução de problemas.

O sigma (σ) é a letra grega usada para o desvio padrão, ou seja, a dispersão dos dados em relação à média aritmética, como mostra a Figura 6. (CORREA, 2003).

Figura 4 - Curva Normal Típica



Fonte: Correa, 2003, p88.

Em uma distribuição normal, quanto menor o desvio padrão (σ), menos disperso serão os resultados, concentrando-se na parte central do eixo x e, conseqüentemente, mais achatada será a curva. Isto significa valores mais próximos à média e, portanto um processo mais estável, pouco disperso ou com pouca variabilidade.

Muito além do significado estatístico, o sigma é um indicador de qualidade que mede a insatisfação do cliente, ou defeito, através da dispersão dos resultados. Um processo com muita variabilidade é um processo com pouca estabilidade e logo tem maiores chances de apresentar defeitos. Um processo Seis Sigma é dito um processo que possui 99,9997% de conformidade (Seis vezes o desvio-padrão para mais ou menos em relação a média), ou seja, é um processo onde ocorrem apenas 3,4 defeitos por milhão de oportunidades (ECKES, 2001).

Hoje em dia o Seis Sigma representa muito mais nas organizações que o empregam. Para Pande, Neuman e Cavanagh (2001), muito além de ferramentas estatísticas, Seis Sigma também pode ser descrita como mudança cultural, que persegue alta perfeição nos processos, alta satisfação do cliente e alta produtividade. Eles assim a definem:

SEIS SIGMA: Um sistema abrangente e flexível para alcançar, sustentar e maximizar o sucesso empresarial. Seis Sigma é singularmente impulsionado por uma estreita compreensão das

necessidades dos clientes, pelo uso disciplinado de fatos, dados e análise estatística e a atenção diligente à gestão, melhoria e reinvenção dos processos de negócios. (PANDE; NEUMAN; CAVANAGH, 2001, p. 11)

Essa visão é hoje mais coerente com o papel do Seis Sigma dentro das empresas, onde ele deixa de ser uma ferramenta puramente técnica e passa a permear a cultura de excelência operacional dentro das mesmas. Isso é refletido na utilização do Seis Sigma, não apenas em manufatura, mas em serviços também. Todo trabalho estruturado em um sistema de processos possui sua variabilidade e gera dados estatísticos desta variabilidade. Isto ajuda a compreender a difusão do Seis Sigma nas indústrias, em manufatura e ambientes transacionais (GALVANI; CARPINETTI, 2013; ANTONY et al, 2012).

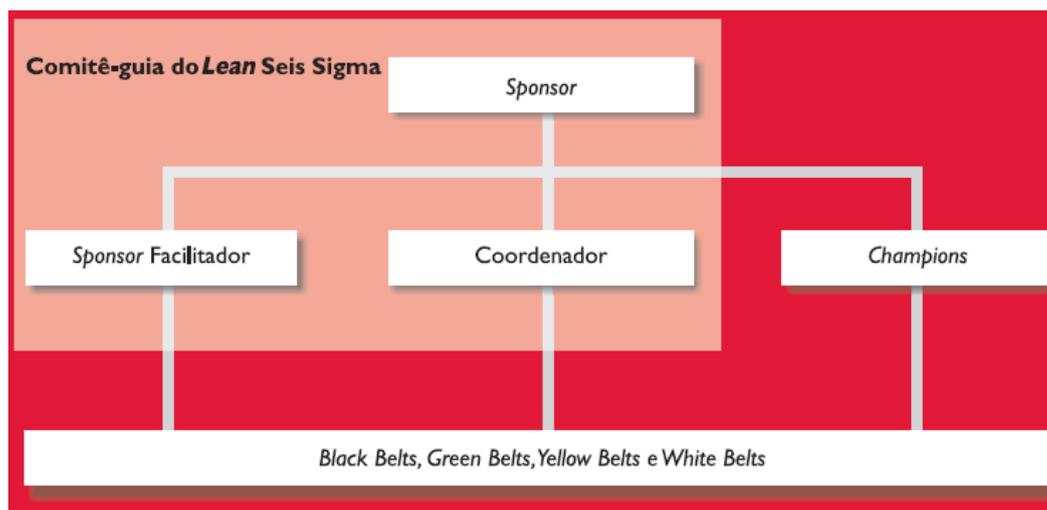
Em se tratando de uma estrutura bem definida e disciplinada, o Seis Sigma exige papéis também bem definidos dentro da organização. As equipes Seis Sigma são compostas por grupos de indivíduos que trazem a autoridade, conhecimentos, competências, habilidades e atributos pessoais necessários ao bom andamento do projeto (SANTOS; MARTINS, 2008; PYZDEK; KELLER, 2010). São pessoas com diferentes formações e talentos com foco em um objetivo comum em curto prazo. Ao receberem treinamento adequado essas pessoas podem se tornar patrocinadores do programa ou especialistas do método e suas ferramentas (PYZDEK; KELLER, 2010).

A equipe Seis Sigma é detalhada por Werkema (2012), Pande, Neuman e Cavanagh (2001), e por Eckes (2001), com algumas diferenças de nomenclatura, demonstrado na Figura 7 e sempre dividida em alguns papéis chave:

- *Sponsors*: a alta liderança, que deve apoiar os *Champions*, prove recursos, supervisiona, define diretrizes e fomenta a cultura como um todo.
- *Champions* ou Campeões: Para Pande, Neuman e Cavanagh (2001), é o patrocinador dos projetos de melhoria, e tem a importante responsabilidade de fazer o refinamento do escopo do projeto, alinhando com as necessidades da organização. São gestores responsáveis por apoiar os projetos e remover possíveis barreiras

para o seu desenvolvimento. De acordo com Lowenthal (2002) devem ser aptos a otimizar determinados processos específicos, prover visão de mudança e indicar a direção inicial dos esforços, desenvolver um plano estratégico do projeto além de alocar recursos e oferecer suporte. São peças chaves na implantação do Seis Sigma devido ao seu conhecimento técnico da metodologia e dos processos (GIJO; BHAT; JNANESH, 2014).

- *Master Black Belt* ou Coordenador do programa Seis Sigma: Treinado intensivamente nas ferramentas Seis Sigma, é aquele que auxilia os líderes de projeto e trabalha para a consolidação da cultura Seis Sigma na organização. É o mentor dos *Black Belts* e *Green Belts*. (WERKEMA, 2012).
- *Black Belt*: Tem como responsabilidade liderar equipes na condução de projetos multifuncionais ou funcionais, alcançando maior visibilidade na estrutura do *Lean Seis Sigma*. Os *Black Belts* devem ser pessoas com habilidades de relacionamento interpessoal, iniciativa, entusiasmo, motivação para alcançar resultados e efetuar mudanças, devem ter influência no setor em que atuam e habilidade para trabalhar em equipe, raciocínio analítico e quantitativo e elevado conhecimento técnico em sua área de trabalho. (WERKEMA, 2012).
- *Green Belt*: é o responsável primário pelos projetos. Responsável pelos recursos, cronograma e (PANDE; NEUMAN; CAVANAGH, 2001). É aquele que “puxa” o projeto.
- *Membros de equipe de projeto*: os membros da equipe de projeto são selecionados pelo Líder baseados na sua experiência e conhecimento do processo ou área de suporte (ECKES, 2001). Auxiliam o Líder nas medições, análises e melhorias necessárias (PANDE; NEUMAN; CAVANAGH, 2001). Membros de equipe de projeto costumam ser treinados nas ferramentas básicas da metodologia, comumente recebendo o título de *White Belt* ou *Yellow Belt*.

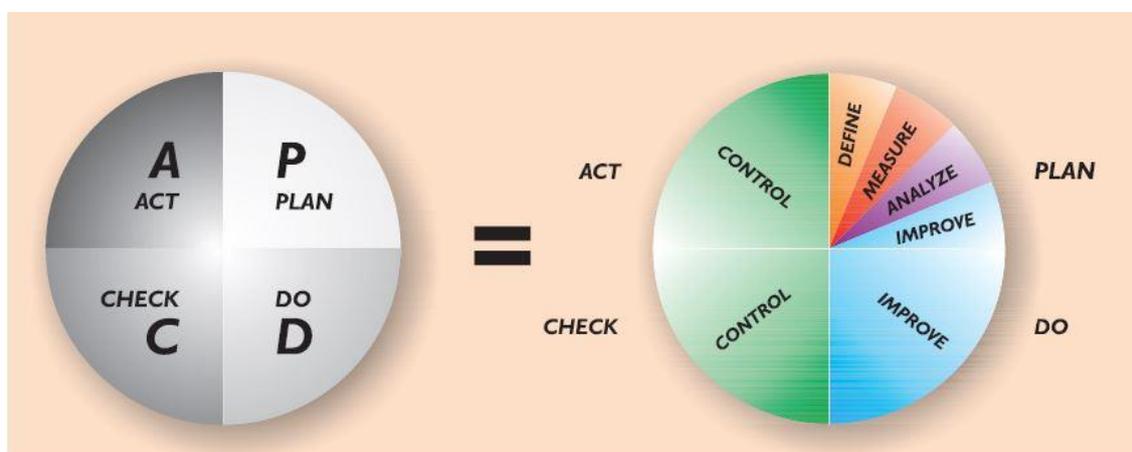
Figura 5 - Estrutura básica para a implementação do *Lean Seis Sigma*

Fonte: WERKEMA, 2012, p44.

3.1 DMAIC (Define Measure Analyze Improve Control ou Definir Medir Analisar Melhorar e Controlar)

O DMAIC é uma metodologia de resolução de problemas e melhoria de processos, derivada do PDCA (*Plan, Do, Check e Act*) de Deming, como ilustra a Figura 8, que é utilizado no Seis Sigma (PANDE; NEUMAN; CAVANAGH, 2001)

Figura 6 - Correspondência entre método DMAIC e o Ciclo PDCA



Fonte: WERCKEMA, 2012, p38.

DMAIC é a sigla em inglês para: Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar, que representam as cinco etapas da metodologia.

Fase Definir

A etapa Definir é onde é determinado o escopo do projeto, bem como o time envolvido, o alcance e responsabilidades de cada área. É uma das fases mais importantes, onde se ouvem as expectativas do cliente, preocupações dos *stakeholders* e se elabora o cronograma de execução do projeto.

Para Eckes (2001) o apoio da liderança na escolha dos projetos é fundamental para garantir os recursos, humanos ou financeiros, para o desenvolvimento dos projetos. Ele alerta para a escolha de projetos que tenham pouco impacto sobre os negócios da organização, por isso é preciso ter cuidado na escolha de qual operação será trabalhada. Isto comumente acontece quando há exigências da diretoria de implantar a metodologia, mas se desvia o foco do cliente ou está em desalinhamento com a estratégia da organização.

O equívoco na seleção dos projetos pode determinar o fracasso do programa Seis Sigma na organização, frustrando todos os envolvidos. Um dos erros comuns na seleção de projetos Seis Sigma é a escolha de grandes projetos complexos atribuídos a um só time, muitas vezes motivados por uma expectativa de ganhos maiores. Deve-se definir problemas com metas tangíveis e mensuráveis, dividindo o escopo do projeto se necessário (WERCKEMA, 2012). Segundo Coutinho (2011) o direcionamento do Seis Sigma tem sido para a implantação de projetos que tragam ganhos financeiros, e quantificar estes ganhos é uma tarefa fundamental na avaliação do projeto ainda nas fases iniciais.

Em se tratando da escolha de projeto, Pande, Neuman e Cavanagh (2001), definem três situações básicas para se escolher um projeto Seis Sigma:

1. Escolher um processo abaixo da performance requerida;
2. Escolher um problema de causa desconhecida;
3. Escolher um problema que recebeu solução inadequada

Tendo definido o projeto, todo seu escopo deve ser documentado, e para isso se utiliza um *charter* de projeto, como ilustra a Figura 9. Todas as informações necessárias à elaboração do um projeto devem ser incluídas neste *charter* de projeto (PYZDEK; KELLER, 2010; WERCKEMA, 2012).

Por outro lado, a definição clara das metas e valores estimula a formação do time, traz clareza em seus objetivos e os envolve na dedicação em atingir tais objetivos (FUMAGALI, 2012), portanto a importância da documentação e do planejamento nas fases iniciais do projeto.

Figura 7 - Charter de projeto Seis Sigma

Redução das perdas de produção por parada de linha na Fábrica I.	
Descrição do problema	<p>Na Fábrica I, as paradas de linha são apontadas pela área de manufatura como um dos maiores problemas na rotina de trabalho, invalidando o planejamento para as operações diárias.</p> <p>No ano 2011, o valor médio mensal das perdas de produção decorrentes das paradas de linha foi muito alto e, além disso, o problema vem apresentando uma tendência crescente.</p> <p>As principais perdas econômicas resultantes do problema em 2011 foram as perdas de faturamento por produtos não entregues aos clientes no prazo previsto (R\$ 1.100.000,00) e os gastos com horas extras, transporte e alimentação dos funcionários para recuperação da produção (R\$ 335.000,00).</p>
Definição da meta	Reduzir em 50% as perdas de produção por parada de linha na Fábrica I, até 30/12/2012.
Avaliação do histórico do problema	Anexo I
Restrições e suposições	<p>Os membros da equipe de trabalho deverão dedicar 50% de seu tempo ao desenvolvimento do projeto.</p> <p>Será necessário o suporte de um especialista do departamento de manutenção.</p> <p>Os gastos do projeto deverão ser debitados do centro de custo 01/PCP20, após autorização do "Champion" (de acordo com o procedimento WIZ).</p>
Equipe de trabalho	<p><u>Membros da equipe:</u> Axel Mahayana (Black Belt - líder da equipe), Denise Sampaio (montagem), Marlon Oliveira (engenharia industrial), Sandra Barbosa (PCP) e Arthur Santos (manutenção).</p> <p><u>"Champion":</u> Otávio Cerqueira (gerente da Fábrica I)</p> <p><u>Especialistas para suporte técnico:</u> Marcos Siqueira (manutenção) e Victoria Ryan (controladoria).</p>
Responsabilidades dos membros e logística da equipe	Anexo II
Cronograma preliminar	Define: 28/02/2012, Measure: 15/04/2012, Analyze: 30/06/2012, Improve: 30/08/2012 e Control: 30/12/2012.

Fonte: WERCKEMA, 2012, p84.

A etapa de Definir, tem como principais ferramentas:

- SIPOC (*Suppliers, Inputs, Process, Outputs e Customers*): é um diagrama utilizado no mapeamento de processo, identificando fornecedores (*suppliers*), entradas (*inputs*), processo (*process*), saídas ou produtos (*outputs*) e clientes (*customers*).

- VOC (*Voice Of the Customer* ou Voz do Cliente): Dados que representem as expectativas dos clientes/consumidores e suas percepções quanto a um produto ou serviço. Podem ser levantados através de pesquisas, formulários, entrevistas, reclamações e comentários em geral (WERCKEMA, 2012). Liu e Li (2011) escolheram esta ferramenta como ponto de partida, abordagem ideal onde o cliente é o foco do projeto.
- VSM (*Value Stream Mapping* ou Mapeamento de Fluxo de Valor) foi tratada no presente trabalho e é uma das principais ferramentas para determinar as oportunidades de melhoria e os objetivos dos projetos (KORNFELD; KARA, 2013).

Fase Medir

A próxima etapa, Medir, é a fase na qual se faz a coleta de dados. Ferramentas são utilizadas para medir, quantitativamente ou qualitativamente, os indicadores importantes que serão trabalhados e que trarão impacto positivo na conclusão do projeto. Segundo Galvani e Carpinetti (2013) esta etapa visa determinar o desempenho atual do processo, decidir o que medir, o que é crítico para qualidade e como será medido.

O que diferencia o Seis Sigma de tantos outros programas de melhoria da qualidade são as decisões baseadas em dados e não nas experiências individuais das pessoas (ECKES, 2001). E para isto, o Seis Sigma utiliza de ferramentas de estatística capazes de analisar, estratificar e apontar tendências. Existem dois principais problemas em relação a mensuração nas empresas. O principal é a total falta de práticas de mensuração. O outro é o excesso de mensuração ou a não utilização do que é medido.

Werckema (2011) chama atenção para que as decisões gerenciais de uma organização devem ser baseadas em dados, portanto os sistemas de medições são de fundamental importância, não apenas durante a etapa Medir. Avaliações dos sistemas de medições devem ser feitas durante todas as etapas do DMAIC, para garantir a confiabilidade dos dados.

Pyzdek e Keller (2010) definem quatro objetivos principais da fase de medição. São eles:

1. Definição do processo: assegurar que o processo a ser medido é claramente definido.
2. Definição da métrica: definir meios confiáveis de se medir o processo através de suas variáveis.
3. Estabelecimento de um *baseline*: quantificar os resultados atuais, estabelecer a necessidade da organização com relação ao processo, e determinar os resultados a serem obtidos.
4. Avaliação dos sistemas de medição: validar a confiabilidade dos dados para conclusões significativas.

Validado a confiabilidade dos dados a serem medidos, o próximo passo é coletá-los. Para uma coleta de dados eficiente, é preciso se fazer um Plano de Coleta de Dados (WERCKEMA, 2012; ECKES, 2001). O Plano de Coleta de Dados deverá conter informações importantes dos dados a serem coletados e como eles serão coletados. Essas informações são:

- O que medir: qual processo precisa ser medido para resolução do problema em questão.
- Tipo de medida: o que será medido neste processo. Podem ser seus resultados, suas entradas, o processo em si, seu tempo.
- Tipo de dados: serão dados contínuos (medidas, tempo, peso) ou discretos (sim/não, bom/ruim).
- Definição operacional: onde se começa a medir e onde a medição termina. É importante para haver uniformidade nos dados coletados, padroniza as medições utilizando uma mesma base.
- Formulário de coleta de dados: depende do tipo de dados a serem medidos. Pode ser uma carta de controle, folhas de verificação ou outra forma que for mais adequada para o tipo de dado que será medido.

- Amostragem: a amostragem define a quantidade dos dados que serão medidos. Pode ser uma população, um lote, de forma aleatória. É importante que seja representativa em relação aos dados medidos.

Confirmado a confiabilidade dos dados obtidos, é preciso identificar formas de estratificá-los. A estratificação consiste em enxergar os dados sob diferentes aspectos, tentando focalizar o problema. Várias ferramentas estatísticas pode ser utilizada para este fim, como o Diagrama de Pareto, Histogramas e Cartas de Controle (WERCKEMA, 2012).

Fase Analisar

A fase Analisar é muito importante na aplicação da metodologia DMAIC, porque nesta fase serão descobertas as verdadeiras causas do problema em questão. Para cada meta, a fase de análise deve indicar uma resposta como forma de solução. Portanto, o objetivo da fase de análise é examinar os dados tomados na fase Medir e a partir deles, encontrar a fonte do problema. (ECKES, 2001; WERCKEMA, 2012).

Um erro comum que ocorre é a equipe de projeto já ter em mente a causa de seu problema e passar pela fase de análise superficialmente, o que normalmente é uma decisão equivocada e põe em risco toda a continuidade do projeto. Não se devem ignorar as experiências pessoais das pessoas envolvidas, mas a principal diferença do Seis Sigma com outras metodologias é justamente a análise minuciosa dos dados medidos (PANDE; NEUMAN; CAVANAGH, 2001).

Segundo esses mesmos autores existem fontes-chave que vão determinar a causa do seu problema: a análise de dados e a análise do processo. Tanto a análise dos dados quanto a investigação do processo podem identificar a causa-raiz do problema, porém as duas combinadas é que torna o poder de análise do Seis Sigma muito eficiente.

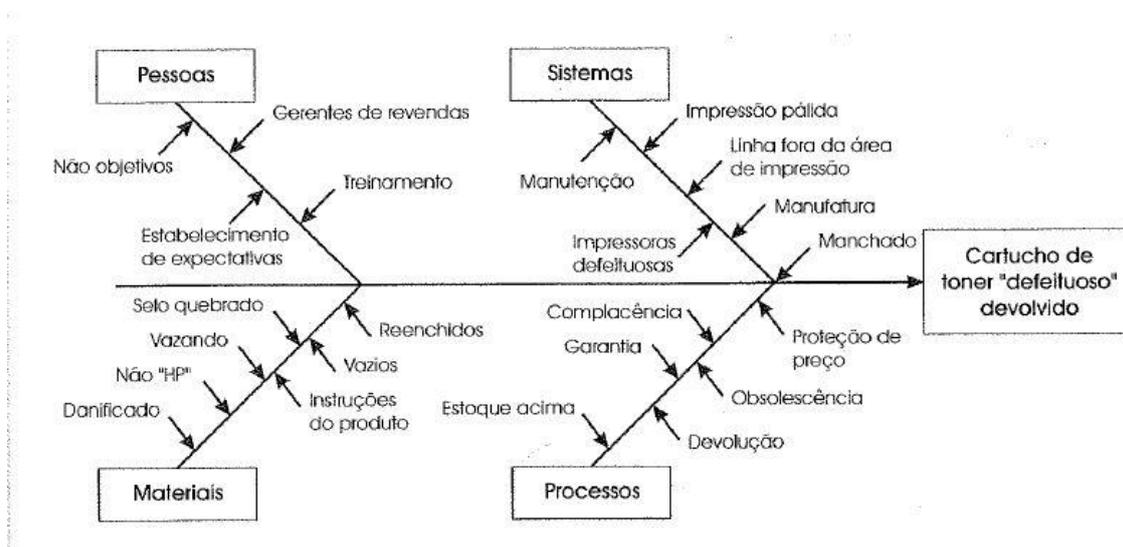
Na Fase Analisar são utilizadas muitas ferramentas de análises estatísticas comuns a Fase Medir, como histogramas e diagramas de paretos.

Como se trata de encontrar a causa-raiz do problema, é fundamental a participação de toda a equipe, e isso flui de uma maneira melhor através de *brainstorming* (ECKES, 2001).

Muitas ferramentas utilizam desse tipo de atividade em grupo, portanto se destacam nesta fase. É o caso do VSM (*Value Stream Mapping*), que identifica as oportunidades de melhoria como parte da análise do processo.

A ferramenta mais utilizada na etapa de análise é o diagrama de causa e efeito, também conhecido como Diagrama de Ishikawa ou Diagrama Espinha de Peixe. Essa ferramenta é bastante efetiva e utiliza também o *brainstorming* como forma de descobrir a causa de problemas utilizando as perguntas “o que, onde, como e por quê”, através de um diagrama que lembra a espinha de um peixe onde possíveis causas são relatadas para o problema em questão, ou efeito, como mostra a Figura 10 (SLACK et al., 2009, ECKES, 2001).

Figura 8- Diagrama de Causa e Efeito



Fonte: SLACK et al., 2009, p585

Eckes (2001) divide a fase analisar em três etapas:

- Abertura: normalmente através de *brainstorming*, é onde se levanta todas as hipóteses de causa.

- Afunilamento: priorização das causas e clarificação das ideias para reduzir o número de possíveis causas.
- Fechamento: etapa mais importante da análise, onde é feito o apontamento da real causa do problema baseando-se em dados.

Muitas vezes a análise aponta para múltiplas causas, tornando difícil a decisão de qual é a mais relevante e qual deve ser atacada. Para esse tipo de conclusão, a análise de dados necessita de ferramentas mais elaboradas, como o Desenho de Experimentos (DOE). Com esta ferramenta, é possível verificar em vários níveis, a contribuição de uma ou outra causa para o resultado de um processo.

Fase Melhorar

Se a equipe executou corretamente as etapas anteriores, a fase de melhoria deve ser a mais simples da metodologia DMAIC, pois a equipe já estará familiarizada com a metodologia, com a rota “abertura, afunilamento e fechamento”, já definiu as causas raízes de seus problemas e tem em mente as possíveis soluções.

Depois de todo o trabalho para definir, medir e analisar as causas do problema e uma vez que se tenha chegado a uma conclusão, a equipe ganha novas forças ao levantar hipóteses para a fase de melhoria. Algumas perguntas fundamentais devem ser feitas nesta fase (PANDE; NEUMAN; CAVANAGH, 2001):

- “Quais as ações ou ideias possíveis que nos ajudarão a abordar a causa-raiz do problema e alcançar nossa meta?”
- “Quais dessas ideias formam soluções potenciais viáveis?”
- “Qual a solução que mais provavelmente alcançará nossa meta com menos conturbação e custo?”
- “Como testamos nossa solução escolhida para assegurar sua eficácia – e depois implementá-la permanentemente?”

A opção por uma solução ótima para a causa-raiz passa pelos mesmos processos de escolhas utilizados na fase de análise. Através de matrizes de priorização, *brainstorming* ou mesmo por tentativa e erro, deve-se partir de um grupo muito grande de possíveis soluções, para escolher aquelas que tragam o melhor benefício possível, levando em conta também possíveis melhorias em outros processos. A escolha das soluções ideias deve levar em conta o tempo de execução, recursos utilizados, impactos ergonômicos ou de segurança, e todo e qualquer fator que se julgue necessário (PANDE; NEUMAN; CAVANAGH, 2001).

Partindo de uma solução conhecida, é preciso criar planos para a sua implementação. Eckes (2001) aponta para três fatores cruciais na implantação de uma solução:

1. Planejamento: é fundamental um plano sólido para implementar o plano, evitar imprevistos e motivar a equipe.
2. Pilotagem: experimentar soluções em menor escala é fundamental para não se desperdiçar recursos em soluções que não trarão resultados.
3. Prevenção de Problemas: prever mesmo que a chance seja remota, os piores casos e as piores falhas.

Uma ferramenta crucial para identificação de riscos e possíveis problemas na implementação das melhorias é o FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) (WERCKEMA, 2012). Esta ferramenta consiste em avaliar e pontuar a severidade, a ocorrência e a detecção das falhas possíveis envolvidas em uma atividade.

Após a execução do plano de ação, o próximo passo irá depender do atingimento ou não da meta idealizada. Caso o resultado tenha sido positivo, o próximo passo consiste em replicar a solução em larga escala. Caso tenha sido negativo, é possível rever a solução escolhida, ou mesmo voltar a etapa de análise caso fique claro que a causa atacada não era a causa-raiz do problema (WERCKEMA, 2012).

É importante que na fase melhorar seja realizada uma coleta de todos os dados envolvidos do processo para se assegurar do sucesso do projeto e documentar a sua melhoria. É preciso considerar que a disciplina e as decisões baseadas em dados são os fatores que tornam o Seis Sigma uma metodologia altamente eficiente na resolução de problemas (PANDE; NEUMAN; CAVANAGH, 2001).

Fase Controlar

Após a aplicação das soluções em larga escala, é necessário monitorar o processo onde as melhorias foram implantadas com um principal objetivo: o de garantir que as melhorias alcançadas perdurem.

A fase Controlar tem como finalidade garantir a manutenção da performance alcançada. Para isso, deve-se utilizar procedimentos operacionais padrão, de fácil entendimento, e que garantam uma uniformização das atividades envolvidas no processo. Esta padronização dos processos é uma forma eficiente de manter os resultados atingidos. Para isso, as auditorias de qualidade são especialmente úteis nessa atividade, para se garantir de forma sistemática a manutenção dos resultados e a perenidade do padrão escolhido (CLETO; QUINTEIRO, 2011). E para se alcançar este nível de padronização, é preciso a conscientização através de treinamentos, utilização de linguagem visual clara, palestras, reuniões e, principalmente, dispositivos a prova de erros (WERCKEMA, 2012; PANDE; NEUMAN; CAVANAGH 2001; GIJO; BHAT; JNANESH, 2014).

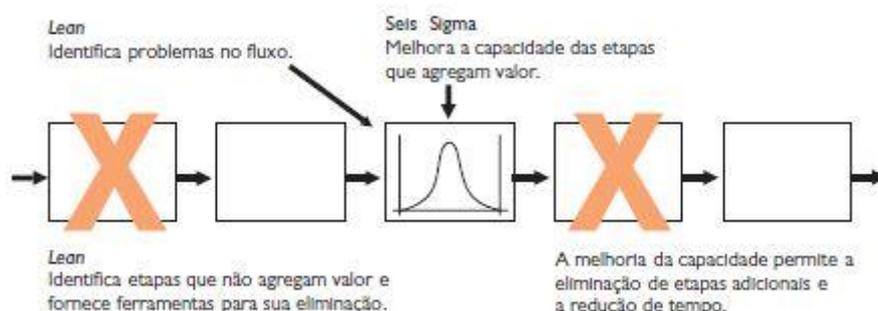
Gijo, Bhat e Jnanesh (2014) chamam atenção para o comprometimento da liderança em todas as fases da implementação dos projetos Seis Sigma e, principalmente, em todos os níveis. Os autores assim concluem após observarem que, nos níveis mais baixos da hierarquia, há um certo receio que os objetivos atingidos, tais como tempo de ciclo, defeitos ou mesmo *headcounts*, culminem na perda de seus empregos. Eles apontam também que para inibir este comportamento, treinamento e conhecimento na metodologia é essencial, pois traz segurança e afasta o medo de qualquer resultado que os projetos venham a ter.

4 LEAN SEIS SIGMA

Lean Seis Sigma é a combinação da qualidade do Seis Sigma e a velocidade do *Lean*, ou seja, a metodologia *Lean* Seis Sigma maximiza os lucros atingindo rapidamente a satisfação do cliente, baixos custos, qualidade, velocidade e retorno nos investimentos de capital (GEORGE, 2002)

Segundo Werckema (2012) a integração do *Lean Manufacturing* e do Seis Sigma é natural, pois o *Lean Manufacturing* não possui uma metodologia estruturada de resolução de problemas, com uso estruturado de ferramentas estatísticas como o Seis Sigma, que por sua vez, não enfatiza a redução na utilização dos recursos e aumento de velocidade como o *Lean Manufacturing*. Esta sinergia é representada na Figura 11 e Figura 12.

Figura 9- Contribuição do *Lean* e do Seis Sigma na melhoria dos processos



Fonte: WERCKEMA, 2012, p26.

Figura 10 - Integração *Lean* Seis Sigma

Fonte: WERCKEMA, 2012, p27.

.Não existe um padrão de implementação da cultura *Lean* Seis Sigma. Cada empresa deve adotar da forma que for mais conveniente a sua cultura, sempre respeitando os requisitos básicos das metodologias *Lean* e Seis Sigma. No entanto, a própria metodologia DMAIC se mostra útil na implantação da Cultura *Lean* em uma empresa, dando visibilidade às etapas de implantação, integrando as equipes *Lean* com outras áreas motivando sua participação e, principalmente, estruturando a implementação de forma disciplinada (FUMAGALI, 2012).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Revisão bibliográfica dá embasamento teórico para uma análise mais profunda da experiência prática do autor. Esta experiência foi vivida durante o estágio em duas multinacionais de grande porte, em áreas de excelência operacional. A primeira uma multiquímica de origem alemã e a segunda uma indústria de dispositivos médicos americana. Nos dois casos, as áreas de suporte em excelência operacional tinham papéis semelhantes, encarregando-se de difundir a cultura de excelência através da formação de multiplicadores, treinamento e aplicação de ferramentas, gestão de ideias e projetos, programas de sugestões de colaboradores, controle de *savings* e todas demais atividades relacionadas à cultura de excelência operacional. Diante do trabalho realizado, se confirmou a perspectiva do autor na prática de que:

Lean Manufacturing e Seis Sigma agem sinergicamente, como avaliaram Werckema (2012) e George (2002), reduzindo variabilidade nos processos, de manufatura ou transacionais, custos em recursos humanos ou de matéria prima, tempos de ciclo e defeitos. Isto resulta em aumento da lucratividade do negócio (GEORGE, 2002). Observou-se na prática, através de aplicação de ferramentas *Lean* e projetos DMAIC, a redução de *headcounts*, a melhora de métricas importantes como tempo de ciclo e horas paradas e, principalmente, a economia anual de grandes quantidades de recursos financeiros.

Tanto o *Lean* através de suas ferramentas, quanto o Seis Sigma através de seus projetos DMAIC são cada vez mais difundidos nas áreas transacionais como observaram Galvani e Carpinetti (2013) e Antony et al. (2012). O autor vivenciou a aplicação de 5S, VSM e Projetos DMAIC em áreas de compras, *supply chain* e até mesmo recursos humanos, simplificando processos (ANTONY et al, 2012) e eliminando atividades que não agregam valor (ROTHER; SHOOK, 1999). Isso reforça a ideia do *Lean Seis Sigma* como cultura e modelo de gestão, perene em toda organização como pontuaram Pande, Neuman e Cavanagh (2001) e Venkateswaran (2011).

De acordo com o que pode vivenciar na indústria enfatiza-se a importância da captura e registro dos *savings* gerados pelos projetos como explicou Coutinho (2011). Nas empresas, onde todas as decisões são orientadas a resultados, a mensuração do sucesso dos projetos e ferramentas em dinheiro, justifica e reforça a sua utilização. Além disso, dá visibilidade aos projetos e avanços atingidos com as metodologias *Lean* e Seis Sigma, bem como aos participantes, o que ajuda na difusão das metodologias, reconhecimento e aumento da moral daqueles que participam dos avanços e projetos como observou Fumagali (2012). Para isso, toda a documentação sugerida na bibliografia se mostra útil.

É imprescindível e determinante o comprometimento e participação da liderança como enfatizaram Marodin (2013) e Werckema (2012). Pode-se observar que o desenvolvimento de projetos DMAIC e a aplicação de ferramentas *Lean* demandam bastante tempo do colaborador, que pode ficar desmotivado caso a liderança não compreenda e apoie estas iniciativas que concorrem com o tempo das tarefas do dia-a-dia. Isto pode ocasionar na desativação, esquecimento e abandono de projetos ou iniciativas, culminando na descrença na metodologia por parte daqueles que estarão mais envolvidos na operação e até determinar o fracasso do programa na organização.

Assim como o apoio da liderança, uma maneira de reforçar a cultura de excelência operacional através do *Lean* e Seis Sigma é o alinhamento das metodologias com a visão estratégica da empresa como sugeriu Eckes (2001). Pode-se vivenciar esta estratégia através de um desdobramento de metas, onde a associação de metas de treinamentos e projetos com as metas individuais e coletivas reforçou este alinhamento e tornou a melhoria contínua parte do dia-a-dia dos colaboradores.

Também os projetos e iniciativas devem estar alinhados com a visão estratégica da organização, pois isto os dará força e respaldo, como disse Eckes (2001). Na prática de estágio notou-se a importância desse alinhamento principalmente na priorização de projetos. Diante de várias opções, as que se mostraram mais vantajosas eram aquelas que contribuíam significativamente para o alcance de metas e objetivos estratégicos da empresa.

A definição de valor sob o ponto de vista do cliente, sugerida por Ohno (1997) e Rother e Shook (1999), é de suma importância na avaliação das atividades que agregam ou não valor ao produto. Esta definição também orienta na determinação e reconhecimento de desperdícios nos processos.

O VSM (*Value Stream Mapping*) é uma ótima ferramenta, tanto para revelar desperdícios, como sugeriram Rother e Shook (1999) quanto mostrar oportunidades de projeto como mostraram Ventura (2012), Kornfeld e Kara (2013). O autor do presente trabalho teve a oportunidade de participar da elaboração de VSMS em diferentes áreas, e de diferentes abrangências. É extremamente eficiente, principalmente quando utilizada por times multidisciplinares e de áreas diferentes, englobando toda a cadeia, e se possível, com a participação de fornecedores e clientes. Concorde-se com a sugestão de Rother e Shook (1999) de que a utilização de papel e caneta na elaboração do VSM o deixa mais dinâmico e incentiva a participação do time, facilitando o processo de *brainstorming*.

A fase Definir da metodologia DMAIC se mostra extremamente importante e determinante nos projetos Seis Sigma como mostraram Pande, Neuman e Cavanagh (2001). Pequenos equívocos na escolha do time ou do projeto podem ocasionar no fracasso não só do projeto em si, mas de todo o programa Seis Sigma, através de desmotivação e descrédito (ECKES, 2001).

Tanto Werckema (2011) quanto Eckes (2001) enfatizaram na fase Medir da metodologia DMAIC a demanda por disciplina do time e da liderança no que se trata do foco nos dados e informações. Se tratando o DMAIC de uma metodologia de resolução de problemas focado em dados, as experiências e o instinto dos participantes podem levar a caminhos equivocados, tanto no levantamento dos dados como na escolha dos dados a serem levantados. Avalia-se que muitas vezes a percepção do time de projeto sobre quais as causas reais dos problemas a serem atacados está correta, porém o embasamento em dados é o que diferencia o DMAIC das outras metodologias de resolução de problemas como sugeriu Werkema (2011), e dá segurança ao time para levar o projeto adiante.

Uma característica marcante do DMAIC é a análise minuciosa dos dados para se chegar a causa real do problema estudado como mostrou Pande, Neuman e Cavanagh (2001). Na fase de Analisar, mais uma vez sem ignorar a experiência anterior do time, deve-se ter as decisões baseadas em dados levantados e analisados através da utilização de diversas ferramentas estatísticas e de análise. Durante este processo, a participação do time todo em processo de *brainstorming* é determinante e útil na descoberta da causa-raíz ou causas-raízes, principal objetivo da etapa de análise como disseram Werkema (2011) e Eckes (2001).

Na fase Melhorar, o time trabalha com iniciativas para se atacar uma causa agora conhecida, munidos de ferramentas e um time que desenvolveu todo um trabalho em conjunto, sendo de certa forma menos onerosa que as primeiras. Mais uma vez a utilização do *brainstorming* se mostra fundamental para se chegar as melhores soluções, sempre levando em conta os fatores econômicos, de segurança, meio ambiente e demais pertinentes a empresa como sugeriram Pande, Neuman e Cavanagh (2001).

A melhoria continua deve ser vista como processo cíclico e deve ser seguida continuamente através da transformação da cultura da empresa, de seus colaboradores, processos e toda cadeia, englobando fornecedores e clientes inclusive como explicou Ohno (1997).

O *Lean Seis Sigma* é uma filosofia e uma estratégia gerencial poderosa para se ganhar competitividade e robustez através da redução de custos e redução da variabilidade nos processos. Através do DMAIC obtém-se uma forma estruturada e robusta para a implantação desta estratégia, com o poder de envolver as pessoas, melhorar a segurança, diminuir complexidade e reduzir desperdícios, ocasionando em um aumento da lucratividade e no desenvolvimento da cultura de excelência operacional, tão almejada e disseminada entre as empresas classe mundial.

REFERÊNCIAS

ALVES, Jakeline Aleixo; DOS SANTOS, Aparecida Penha. **Logística Lean Para Redução Dos Efeitos Da Variação Da Demanda No Abastecimento De Linhas De Produção**. Revista Perspectivas Contemporâneas, v. 8, n. 1, p. 53-66, jan./jun. 2013. Disponível em: <http://revista.grupointegrado.br/revista/index.php/perspectivascontemporaneas>. Acesso em 02 de junho de 2014.

ANTONY, Jiju; BHULLER, Anmol Singh; KUMAR, Maneesh; MANDIBIL, Kepa; MONTGOMERY, Douglas C. **Application of Six Sigma DMAIC methodology in a transactional environment**. International Journal of Quality & Reliability Management Vol. 29 No. 1, 2012, pp. 31-53. Disponível em: www.emeraldinsight.com/0265-671X.htm. Acesso em 06 de junho de 2014.

CAMPOS, Vicente Falconi. **TQC-Control de qualidade total (no estilo japonês)**. Belo Horizonte, Editora Falconi, 1996

CLETO, Marcelo Gechele; QUINTEIRO, Leandro. **GESTÃO DE PROJETOS ATRAVÉS DO DMAIC: UM ESTUDO DE CASO NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA**. Revista Produção Online v.11, n.1, março de 2011. Disponível em: <http://demec.ufpr.br/laboratorios/labprod/artigos/artigo19.pdf>. Acesso em: 27 de maio de 2014.

CORREA, Sonia Maria Barros Barbosa. **Probabilidade e Estatística**. PUC Minas, 2003.

COUTINHO, Marcelo Navarro Santos. **Aplicação do método DMAIC no Processo de Pintura de uma Linha de Montagem de Ônibus**. Dissertação de mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Florianópolis, 2011.

CROSBY, Philip B. **Qualidade é investimento**. Rio de Janeiro, José Olympio, 1994.

DEMING, W. EDWARDS. **Qualidade: a revolução da administração**. Rio de Janeiro, Editora Marques Saraiva, 1990.

ECKES, George. **A Revolução Seis Sigma: o método que levou a GE e outras empresas a transformar processos em lucro**. 3 ed. Rio de Janeiro. Campus: 2001.

FREIRE, Luiz Meira. **Análise e Simulação do Ciclo de Reabastecimento das Células de Produção em Sistemas Just-In-Time**. Dissertação de Mestrado apresentada Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, 2008.

FUMAGALI JÚNIOR, Adionil José. **Sistematização de modelo de implementação da Produção Enxuta baseado no DMAIC**. Tese de doutorado apresentado à Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. 2012.

GALVANI, Luis Ricardo; CARPINETTI, Luiz César R. **Análise comparativa da aplicação do programa Seis Sigma em processos de manufatura e serviços**. Produção vol.23 nº 4. São Paulo. Oct./Dec. 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-65132013005000013>. Acesso em: 04 de junho de 2014.

GEORGE, Michael L. Lean Six Sigma: **Combining Six Sigma Quality with Lean Speed**. McGraw-Hill, 2002.

GIJO, E. V.; SHREERANGA, Bhat; JNANESH N.A. **Application of Six Sigma methodology in a small scale foundry industry**. International Journal of Lean Six Sigma, Vol. 5 Iss: 2. 2014. Disponível em: <http://www.emeraldinsight.com/journals.htm?articleid=17109627&show=abstract>. Acesso em 05 de junho de 2014.

HINES, P.; TAYLOR, D. **Going Lean: A guide to implementation**. Cardiff: Lean EnterpriseResearch Center, 2000.

IMAI, Masaaki. **KAIZEN: A Estratégia para o Sucesso Competitivo**. São Paulo. IMAM. 1988.

JABBOUR, Ana Beatriz L. de Sousa; TEIXEIRA, Adriano A.; FREITAS, Wesley Ricardo de Souza; JABBOUR Charbel José C. **Análise da relação entre manufatura enxuta e desempenho operacional de empresas do setor automotivo no Brasil**. Revista de Administração vol.48 nº.4 - São Paulo Out./Dez. 2013.

KORNFELD, Bernard; KARA, Sami. **Selection of Lean and Six Sigma projects in industry**. International Journal of Lean Six Sigma Vol. 4 No. 1, 2013. pp. 4-16. Disponível em: www.emeraldinsight.com/2040-4166.htm. Acesso em: 06 de junho de 2014.

LEAN ENTERPRISE INSTITUTE. **Léxico Lean**. São Paulo, Lean Institute Brasil, 2011.

LIKER, Jeffrey K.; MEIER, David. **The Toyota Way Fieldbook: A practical guide for implementing toyota's 4Ps**. New York. McGraw-Hill, 2006.

LIKER, Jeffrey K. **The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer**. McGraw-Hill, 2004.

LIU, Yun-na; LI, Kang, **Application of Six Sigma methodology DMAIC in HR project management —A case study of Motorola SC HR DSS project**. Industrial Engineering and Engineering Management (IE&EM), 2011 IEEE 18Th International Conference on , vol.Part 2, no., pp.1340,1343, 3-5

September 2011. Disponível em:

http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=6035403&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D6035403.

Acesso em: 06 de junho de 2014.

MARODIN, Giuliano A. **Avaliação de Riscos em Processos de Implantação de Produção Enxuta**. Tese (Doutorado) do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Porto Alegre, 2013.

NAZARENO, Ricardo Renovato. **Desenvolvimento de sistemas híbridos de planejamento e programação da produção com foco na implantação de manufatura enxuta**. Tese (Doutorado) do Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Engenharia de Produção – Escola de Engenharia de São Carlos – USP. São Carlos, 2008.

OHNO, Taiichi. **O Sistema Toyota de Produção: Além da Produção em Larga Escala**. Bookman. 1997.

PANDE, Peter S.; NEUMAN, Robert P.; CAVAGH, Roland R. **Estratégia Seis Sigma – Como a GE, a Motorola e outras grandes empresas estão aguçando seu desempenho**. Rio de Janeiro. Qualitymark: 2001.

PYZDEK, Thomas; KELLER, Paul A. **The Six Sigma Handbook: A Complete Guide for Green Belts, Black Belts, and Managers at All Levels**. New York. McGraw-Hill, 2010.

ROOCK, S.; **Kanban: Definition of Lead Time and Cycle Time**. Disponível em: <http://stefanroock.wordpress.com/2010/03/02/kanban-definition-of-lead-time-and-cycle-time/>. Acesso em: 15/03/2014.

ROTHER, M.; SHOOK, J.; **Learning to see: value stream mapping to add value and eliminate muda**. Brookline, Massachusetts, USA. Lean Enterprise Institute, 1999.

ROY, Nath Hemendra; SAHA, Sudipta; BHOWMICK, Tarapada; GOLDAR, Sufal Chandra. **Productivity Improvement of a Fan Manufacturing Company by using DMAIC Approach: A Six-Sigma Practice**. Global Journal of Researches in Engineering - Volume 13 Issue 4 Version 1.0 Year 2013. Khulna University of Engineering & Technology, Bangladesh, 2013. Disponível em: <http://engineeringresearch.org/index.php/GJRE/article/view/894/>. Acesso em 02 de junho de 2014.

SANTOS, Adriana Barbosa; MARTINS, Manoel Fernando. **Modelo de referência para estruturar o Seis Sigma nas organizações**. Revista Gestão da Produção. São Carlos, v. 15, n. 1, p. 43-56, jan.-abr. 2008.

SANTOS, Luciano Costa; GOHR, Cláudia Fabiana; DOS SANTOS, Eder Jonis. **Aplicação do mapeamento do fluxo de valor para a implantação da**

produção enxuta na fabricação de fios de cobre. Revista Gestão Industrial. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UFTPR, 2011.

SCHROEDER, R.; HARRY, M. **Six Sigma: The Breakthrough Management Strategy Revolutionizing the World's Top Corporations.** 1 ed. Currency: 2000.

SLACK, Nigel. **Vantagem Competitiva em Manufatura.** 2 ed. São Paulo. Atlas S.A: 2002.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; HARLAND, C.; HARRISON, A.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção.** 1ª ed. São Paulo. Atlas S.A: 2009

VENKATESWARAN, S.; **Implementing Lean In Healthcare Warehouse Operations – Evaluation Of 5s Best Practice.** Faculty of the Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Industrial Engineering. 2011.

VENTURA, Fábio André Mendes Lopes. **Value Stream Mapping metodologia Lean aplicada a linha de montagem.** Dissertação de Mestrado apresentado ao Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial da Universidade de Aveiro. 2012.

WERCKEMA, Cristina. **Avaliação de Sistemas de medição.** 2ª ed. Rio de Janeiro. Elsevier, 2011.

WERKEMA, Cristina. **Criando a Cultura Seis Sigma.** v1. Nova Lima. Werkema: 2012.

WERKEMA, Cristina. **Lean Seis Sigma – Introdução às Ferramentas do Lean Manufacturing.** 1 ed. Belo Horizonte. Werkema: 2006.

WOMACK, James P.; JONES, Daniel T.; ROOS, Daniel. **A Máquina que Mudou o Mundo.** 5 ed. Rio de Janeiro: Campus, 1992.

WOMACK, James P.; JONES, Daniel T. **A Mentalidade Enxuta nas Empresas Lean Thinking: Elimine o Desperdício e Crie Riqueza.** 6ª edição. Rio de Janeiro: Campus. 2003.