

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**Estudo sobre aplicação da Produção Enxuta em um ambiente de
construção de infraestrutura rodoviária**

FELIPE SCHÜTZER CATTANI

Orientador: Prof. Associado Antonio Freitas Rentes

São Carlos

2011

FELIPE SCHÜTZER CATTANI

Estudo sobre aplicação da Produção Enxuta em um ambiente de construção de infraestrutura rodoviária

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Escola de Engenharia de
São Carlos da Universidade de São Paulo
para a Obtenção do Título de Especialista
em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Associado Antonio Freitas
Rentes

São Carlos

2011

Autorizo a publicação e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catalogação da Publicação

Procurar o Serviço de Apoio da Biblioteca Central da EESC.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor e amigo Antonio Rentes, orientador desse trabalho, agradeço pelos anos de conselhos, dedicação e oportunidades, através dos quais aprendi muito.

Agradeço também aos amigos da Hominiss me auxiliaram durante todo este ano, dando todo o apoio necessário. Além deles, obrigado a todos os meus professores, que deram condições para chegar a este momento.

Aos colegas da Engenharia de Produção, pelos momentos inesquecíveis.

A Mariane pelo apoio e dedicação durante todos esses anos.

E principalmente aos meus pais e meu irmão, que estiveram sempre ao meu lado, independentemente de qualquer problema pelos quais passamos.

RESUMO

CATTANI, F. S. *Estudo sobre aplicação da Produção Enxuta em um ambiente de construção de infraestrutura rodoviária.* Trabalho de Conclusão de Curso. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2011

O cenário cada vez mais dinâmico e competitivo do mundo empresarial tem forçado seus agentes a mudar. Empresas de diversos setores buscam metodologias, técnicas e conceitos inovadores, para garantir estabilidade e sobrevivência, através do aperfeiçoamento de requisitos básicos como rapidez de resposta, flexibilidade de produção e qualidade.

A aplicação dos conceitos, técnicas e ferramentas da produção enxuta tem sido amplamente difundida dentro de empresas dos mais diferenciados segmentos. Embora, ainda exista um paradigma de que esta aplicação é viável apenas em ambientes industriais, com produção seriada, alto volume e baixa diversidade de produtos; atualmente adaptações e ajustes deste modelo tem tornado possível a obtenção dos ganhos oriundos da eliminação de desperdícios no sistema produtivo em setores muito diferentes, como a construção civil. O objetivo deste trabalho é justamente mostrar a adaptação de alguns dos conceitos da produção enxuta, em uma obra de restauração de uma rodovia federal.

Palavras-chave: Produção Enxuta, Construção Civil, Construção Enxuta.

ABSTRACT

CATTANI, F. S. *Study about Lean Production applications on road infrastructure constructions.* Trabalho de Conclusão de Curso. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2011

A dynamic and competitive scenario has forced their agents to change. Companies from different market segments are searching for innovative methodologies, concepts and techniques to ensure its stability and survival, through improvement of basics requirements like speed, flexibility and quality.

The application of the concepts, techniques and tools of lean manufacturing has been widely studied by enterprises from the most different market segments. Although there is still a paradigm that application of its methodology is only viable for industries, with high volume and low variety of products; currently adaptations and adjustments of this model are making possible the achievement of results by the reduction or even the elimination of the wastes in almost all production systems.

This work aims to show the concepts of lean manufacturing adapted to a federal highway construction.

Key-words: Lean Manufacturing, Civil Construction, Lean Construction.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: DESPERDÍCIOS EM UMA LINHA DE MONTAGEM DE CHASSIS.....	19
FIGURA 2: COMPOSIÇÃO DE ATIVIDADES NA EMPRESA E DISTINTAS ABORDAGENS DE MELHORIA.....	19
FIGURA 3: AS QUATRO CATEGORIAS DO MODELO TOYOTA	21
FIGURA 4: REPRESENTAÇÃO DO DMAIC E SUA ABORDAGEM CONTÍNUA	23
FIGURA 5: MAPA DE FLUXO DE VALOR DE UM ESTADO ATUAL.	28
FIGURA 6: PROCESSAMENTO EM LOTES E EM FLUXO CONTÍNUO	33
FIGURA 7: EXEMPLIFICAÇÃO DAS ATIVIDADES QUE COMPÕEM O TEMPO DE SETUP	35
FIGURA 8: COMPARATIVO ENTRE FLEXIBILIDADE E REDUÇÃO DO TEMPO DE SETUP.....	36
FIGURA 9: MELHORIA CONTÍNUA (KAIZEN) VERSUS MELHORIA RADICAL (KAIKAKU)	39
FIGURA 10: RELAÇÕES ENTRE AS PARTICULARIDADES DO PROJETO/ PRODUÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	47
FIGURA 11: SITUAÇÃO DA BR-163 EM JANEIRO/2011	68
FIGURA 12: PERFIL LONGITUDINAL DEMONSTRANDO OS PATAMARES DE EXECUÇÃO	70
FIGURA 13: MAPA DE FLUXO DE VALOR MACRO DA E1	80
FIGURA 14: MAPA DE FLUXO DE VALOR ATUAL DA SUB-BASE	81
FIGURA 15: ABRANGÊNCIA DOS EVENTOS KAIZEN PLANEJADOS PARA O PROJETO NA E1....	85
FIGURA 16: PARTE DO CRONOGRAMA DAS IMPLANTAÇÕES	88
FIGURA 17: OBJETIVOS GERAIS DO PROJETO	89
FIGURA 18: VISÃO ESQUEMÁTICA DO ESTADO FUTURO DA E1.....	89
FIGURA 19: REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE UM PADRÃO DE TRABALHO DAS EQUIPES...95	95
FIGURA 20: NÍVEIS DE PLANEJAMENTO DA CONSTRUÇÃO	96

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Causas e Soluções para os Tipos de Desperdícios	25
Tabela 2: Cronograma de um Evento Kaizen Padrão	40
Tabela 3: Comparação Construção Enxuta com a Gestão Convencional da Construção.....	49
Tabela 4: Estrutura do Método de Aplicação Proposto	72
Tabela 5: Frota de Equipamentos da empresa E1 na obra de restauração da BR-163.....	76
Tabela 6: Formação das Famílias de produtos da E1	76
Tabela 7: Lead Times dos processos na execução da regularização em canchas de 400 metros	90
Tabela 8: Efeito da redução do tamanho das canchas	91
Tabela 9: Representação da ideia de equipes de processamento.....	93

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Participação no PIB dos investimentos em transportes e rodovias	12
Gráfico 2: Transporte Rodoviário Interestadual de Passageiros	12
Gráfico 3: Matriz Modal Brasileira – 2006	64
Gráfico 4: Comparação da execução de canchas de diferentes tamanhos	92

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AV – Atividades que agregam valor

FIFO – *First in first out*

IGLC - *International Group for Lean Construction*

L/T – *Lead time*

MFV – Mapa do Fluxo de Valor

NAV – Atividades que não agregam valor

One piece flow – Fluxo unitário

PAC – Plano de aceleração do crescimento

SMED – *Single Minute Exchange of Die*

STP – Sistema Toyota de Produção

T/C – Tempo de ciclo

TPM – *Total Productive Maintenance*

TPT – Toda parte todo (...)

SUMÁRIO

RESUMO.....	4
ABSTRACT	5
LISTA DE FIGURAS.....	6
LISTA DE TABELAS	7
LISTA DE GRÁFICOS.....	8
SUMÁRIO	10
1. INTRODUÇÃO.....	11
1.1. CONTEXTO/ JUSTIFICATIVA	11
2. REVISÃO BILIOGRÁFICA.....	16
2.1. PRODUÇÃO ENXUTA.....	16
2.1.1. Histórico.....	16
2.1.2. Conceitos da Produção Enxuta	17
2.1.3. Princípios do pensamento enxuto	19
2.1.4. O DMAIC como modelo para condução de mudanças.....	21
2.1.5. Os sete desperdícios.....	24
2.1.6. Ferramentas e técnicas da Produção Enxuta.....	26
2.2. CONSTRUÇÃO ENXUTA.....	44
2.2.1. Histórico.....	44
2.2.2. A produção na construção civil.....	45
2.2.3. A gestão tradicional da construção civil e a construção enxuta	48
2.2.4. Os princípios da construção enxuta.....	50
2.2.5. As Categorias de Desperdícios para a Construção Enxuta e o Last Planner	59
3. APLICAÇÃO NO CASO	62
3.1. INTRODUÇÃO	62
3.2. CONTEXTUALIZAÇÃO DO MERCADO E DA EMPRESA	63
3.2.1. O setor de construção de rodovias.....	63
3.2.2. Descrição da empresa	66
3.2.3. Descrição da obra observada	66
3.2.4. Método.....	71
3.2.5. Adaptações do método à situação da obra.....	72
3.2.6. Desenvolvimento da proposta e resultados.....	87
3.2.6.1. Cronograma	88
3.2.6.2. Melhorias propostas:	88
3.2.6.3. Planejamento.....	95
4. CONCLUSÕES	97
REFERÊNCIAS	99

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta os resultados do projeto realizado pelo autor, durante o ano de 2011 para as disciplinas “Trabalho de Conclusão de Curso I e II”, cujo título é “Estudo sobre aplicação da Produção Enxuta em um ambiente de construção de infraestrutura rodoviária”.

1.1. CONTEXTO/ JUSTICATIVA

A construção civil brasileira vive dias de forte crescimento, mais especificamente, nos últimos anos, os investimentos públicos e privados em infraestrutura têm garantido uma forte evolução do setor de construção pesada e infraestrutura.

Com a confirmação da realização da Copa do Mundo de Futebol de 2014 e os Jogos Olímpicos de 2016 em território brasileiro, os investimentos em infraestrutura de transportes foram bastante aumentados, afinal criou-se um senso de urgência para amenizar o déficit deste tipo de facilidade no país, já nos próximos anos. Além disso, os 52,4 bilhões de reais em recursos federais previstos no PAC 2 indicam a continuidade da expansão da malha de transportes no Brasil durante os próximos 5 anos.

Pode-se observar no Gráfico 1 que há, de fato, uma tendência de aumento da representatividade dos investimentos em transportes no Brasil:

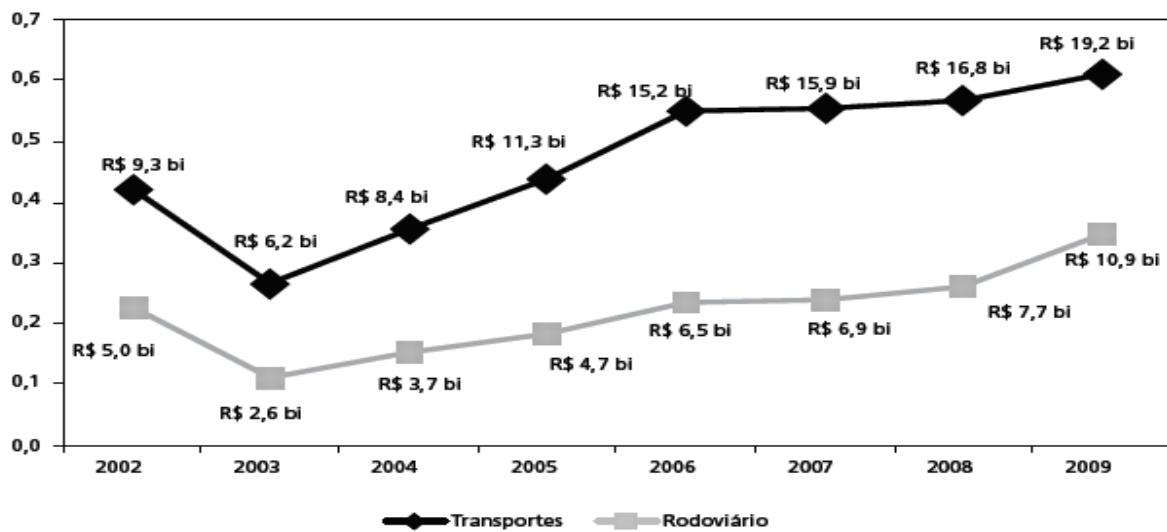


Gráfico 1: Participação no PIB dos investimentos em transportes e rodovias (Em %)
Fonte: IPEA (2011)

Ainda, o crescimento econômico do Brasil, o aumento das exportações e até mesmo o aumento da renda média do brasileiro forçaram a expansão da demanda por infraestrutura de transportes de forma absoluta, e especialmente no modal rodoviário.

Este fenômeno pode ser observado no Gráfico 2, abaixo, que mostra a evolução do número de passageiros que utilizaram o rodovias em deslocamentos interestaduais nos últimos 2 anos:

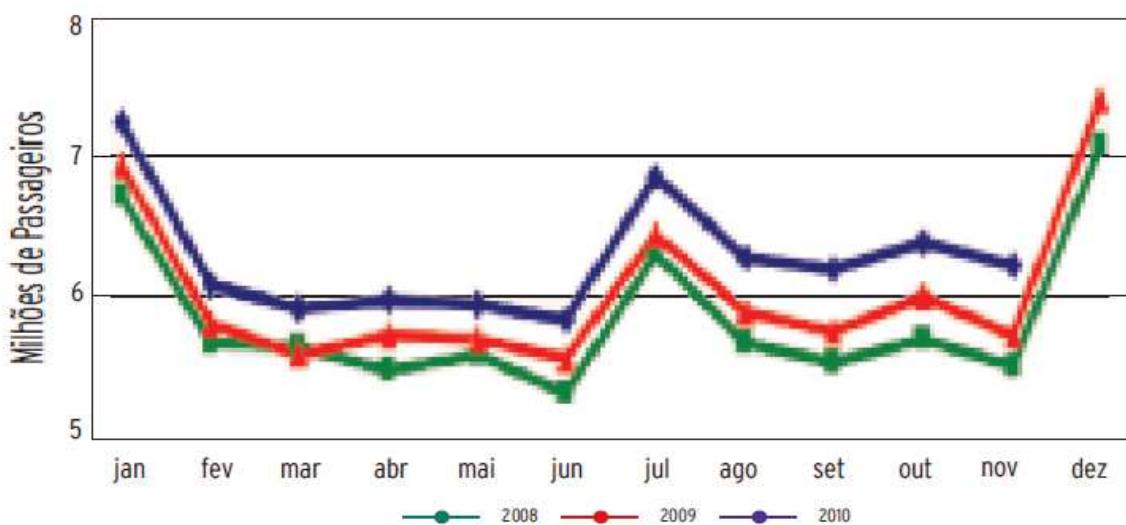


Gráfico 2: Transporte Rodoviário Interestadual de Passageiros
Fonte: CNT/FIPE-USP (2011)

O cenário onde estão o reaquecimento do setor da construção civil, e a evolução dos organismos reguladores e fiscalizadores dos investimentos públicos força as construtoras de rodovias e ferrovias, a melhorar seu desempenho operacional. A concorrência neste setor, bastante aquecido, as peculiaridades dos cronogramas de obras civis e o controle de qualidade cada vez mais rígido demandado pelo cliente são fatores que fazem com que estas empresas reconheçam a necessidade de uma nova filosofia que as auxiliem na administração da produção no canteiro de obras.

Na construção civil, assim como sugeriam sistemas tradicionais da manufatura, o modelo de gestão da produção é baseado em processos de conversão, que transformam insumos em produtos intermediários ou finais. Estes modelos têm ignorado e, muitas vezes deteriorado os fluxos de materiais, trabalho e informações dentro da construção. (KOSKELA 1992).

O reflexo da defasagem conceitual na gestão da construção civil pode ser facilmente observado na quantidade de atividades que não agregam valor presentes nos fluxos das obras, na sua baixa produtividade em geral, no altíssimo desperdício de matérias-primas e insumos, nas más condições de trabalho, e nos desperdícios com mão-de-obra.

Sob o aspecto gerencial, além da abordagem tradicional do processo de produção, outro fator que leva a fragmentação, falta de transparência e até ao atraso das práticas adotadas pelo setor é o tipo de organização atuante no mercado; o setor de construção de infraestrutura, em geral, é formado por empresas familiares, de capital fechado, em fase de profissionalização da gestão corporativa. Conforme o cadastro de empresas com papéis negociáveis na BM&F Bovespa em outubro de 2011 existiam apenas cinco empresas do segmento de construção pesada com ações negociadas na bolsa.

Para atender os anseios do setor, nos últimos anos inúmeras abordagens e filosofias foram oferecidas à construção civil objetivando a atenuação de seus problemas, muitas destas filosofias são oriundas de ambientes de produção industrial, e tiveram suas técnicas, ferramentas e conceitos adaptados às peculiaridades das obras civis.

Dentre estas, ao longo dos últimos 20 anos, um novo referencial teórico vem sendo construído para servir como modelo para a gestão de processos na construção civil, tal modelo tem como referencial as ideias que, surgiram nos anos

50, dentro da indústria automobilística japonesa, especificamente dentro da Toyota Motor Company, que suprimida pelas condições impostas às empresas japonesas no pós-guerra, traçou um modelo de produção que focava a eliminação de desperdícios em seus fluxos produtivos. O alto desempenho operacional alcançado com este modelo motivou uma série de estudos acadêmicos, como o realizado pelo *International Motor Vehicle Program* (IMVP) no *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), que forjou o termo produção enxuta. (*Lean Production*).

A adaptação do *Lean Production* à realidade da construção civil tem, como marco, a publicação do trabalho *Application of the new production philosophy in the construction industry* por Lauri Koskela (1992) do *Technical Research Center* (VTT) da Finlândia, que estabelece uma nova filosofia conhecida por Construção Enxuta (Lean Construction), que busca, através de algumas técnicas e ferramentas de gestão baseadas na Produção Enxuta, reduzir atividades que não agregam valor aos produtos da construção civil.

Em seu trabalho Koskela (1992); afirma que a como consequência dos conceitos de gestão tradicional, a construção é caracterizada por uma elevada percentagem de atividades não agregam valor e baixa produtividade resultante. Ainda segundo Koskela (1992), A construção civil, no entanto, tem peculiaridades que podem dificultar a criação de fluxos tão eficientes como os da manufatura:

- a) os projetos geralmente são únicos com diferentes clientes, diferentes locais e ambientes e com diferentes formas de gerenciamento (este fator especificamente é atenuado nas construções de infraestruturas de transportes);
- b) a produção é posicional e exige a adaptação da produção a diferentes condições ambientais, culturais e podem dificultar a otimização de alguns fluxos;
- c) a organização é temporária: vínculos, treinamentos, disseminação de padrões e controles são prejudicados devido à alta rotatividade de profissionais e fornecedores entre cada projeto;

Estas peculiaridades, no entanto, não impedem que os princípios gerais da produção enxuta; o projeto do fluxo de valor, os controles visuais; padrões de

trabalho e a melhoria contínua surtam efeitos extremamente benéficos à construção civil.

Aliás, as mesmas peculiaridades se fazem presentes em diversos outros setores, nos quais a implantação dos mesmos conceitos e ferramentas já se provou bastante factível, obtendo expressivos resultados.

1.2. OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo propor a aplicação dos conceitos e ferramentas do *Lean Production* na construção civil, e posteriormente detalhar a utilização dos mesmos em uma obra de restauração de uma rodovia federal, e introduzir uma metodologia de planejamento de produção para reduzir desperdícios comuns nas construções.

2. REVISÃO BILIOGRÁFICA

Para o desenvolvimento deste trabalho faz-se necessário o desenvolvimento de um referencial teórico para a conceituação da produção enxuta e do sistema Toyota de produção, posteriormente são apresentados outros trabalhos que avaliam a aplicação destes conceitos na construção civil. Durante toda esta revisão, ainda são introduzidos conceitos de gestão de mudança organizacional que estão relacionados à segunda parte deste trabalho.

2.1. PRODUÇÃO ENXUTA

A produção enxuta desafiou o sistema de produção em massa porque muda o foco da otimização dos processos e passa a olhar mais atentamente para o processo de transformação como um fluxo. A produção enxuta surgiu de estudos sobre o Sistema Toyota de Produção, cujos resultados focavam atender demandas por baixo custo, alta variedade, alta qualidade e tempos de travessamento curtos que conseguem responder rapidamente a mudanças nos desejos do consumidor.

2.1.1. Histórico

A Produção Enxuta teve suas origens no Japão pós-guerra, dentro da Toyota Motor Company, a empresa buscava o desenvolvimento de um sistema de produção próprio, baseado essencialmente na busca pela produtividade e melhoria da qualidade. Após uma visita à Ford Motor nos Estados Unidos, os engenheiros da Toyota Eiji Toyoda e Taiichi Ohno concluíram que copiar ou melhorar o sistema de produção em massa seria impraticável, dada as condições financeiras e estruturais do Japão destruído na Segunda Guerra.

Fazia-se necessária a criação de um sistema de produção que proporcionasse o atendimento das necessidades do mercado japonês sem onerar Toyota com

enormes estoques e investimentos, as necessidades dos japoneses eram, segundo Liker (2005), alta qualidade, baixo custo, menor tempo de entrega e altíssima flexibilidade. Segundo Ohno (1988) as necessidades impostas pelo mercado em meados dos anos 60 juntamente com o crescimento dos concorrentes impulsionaram o desenvolvimento de um sistema de produção para a indústria automobilística japonesa que se diferenciasse dos modelos americanos aplicados pelas grandes empresas automobilísticas.

O primeiro contato do ocidente com o este novo sistema de produção se deu através do lançamento do livro “*Toyota Production System; an integrated approach to just-in-time*”, por Yasuhiro Monden em 1983, porém o grande impacto aconteceu em meados dos anos 90 através de pesquisas de professores do IMVP (*International Motor Vehicle Program*) do MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) e o lançamento livro “*The machine that changed the world*”

O termo *Lean Production*, ou Produção Enxuta, também surgiu dos resultados das pesquisas do IMVP e foi cunhado por John Krafcik, que utilizou o termo enxuto após constatar que este sistema utilizava muito menos recursos que a melhor experiência com a produção em massa: metade do esforço dos operários na fábrica, metade do espaço para fabricação, metade do investimento em ferramentas, metade das horas de planejamento para desenvolver novos produtos em metade do tempo, havia menos da metade dos estoques no local de fabricação, além de resultar em produtos com menos defeitos e produzir uma maior e sempre crescente variedade de produtos.

O resultado não só deste sistema de produção, mas de toda filosofia da Toyota a levou ao posto de maior montadora do mundo anos mais tarde.

2.1.2. Conceitos da Produção Enxuta

Um conceito muito disseminado com o sistema Toyota de produção (STP) capturado pelos pesquisadores do MIT é o de valor, segundo o qual se classifica todas as atividades que são realizadas na produção e não agregam valor ao produto final como desperdício.

Desperdício; segundo Womack, Jones & Roos (1992), é qualquer atividade que absorve recursos como mão-de-obra e energia, mas não cria valor para o cliente final. Dentro de uma empresa, apenas algumas atividades tornam, de fato, o produto final mais valioso, muitas outras não acrescentam valor algum ao produto.

Todas essas atividades podem, na verdade, ser classificadas de três maneiras: atividades que agregam valor, atividades que não agregam valor e atividades que não agregam valor, mas são necessárias nas condições atuais da empresa. Abaixo está uma definição para cada tipo de atividade:

- a) Atividades que agregam valor (AV): são aquelas que, aos olhos do cliente final tornam o produto mais valioso, ou seja, são as atividades pelas quais o cliente se dispõe a pagar.
- b) Atividades que não agregam valor (NAV): são aquelas que, aos olhos do cliente final não tornam o produto mais valioso, aliás, em geral ele sequer percebe que tais atividades aconteceram.
- c) Atividades necessárias que não agregam valor: são aquelas que, embora aos olhos do cliente final não tornem o produto mais valioso, são indispensáveis para a execução das atividades que agreguem valor. Um exemplo destas atividades é transferência, em lotes, de peças em um processo produtivo quando não há possibilidade de se criar um fluxo contínuo.

Na figura a seguir se pode observar a classificação de algumas atividades na montagem de um chassis:

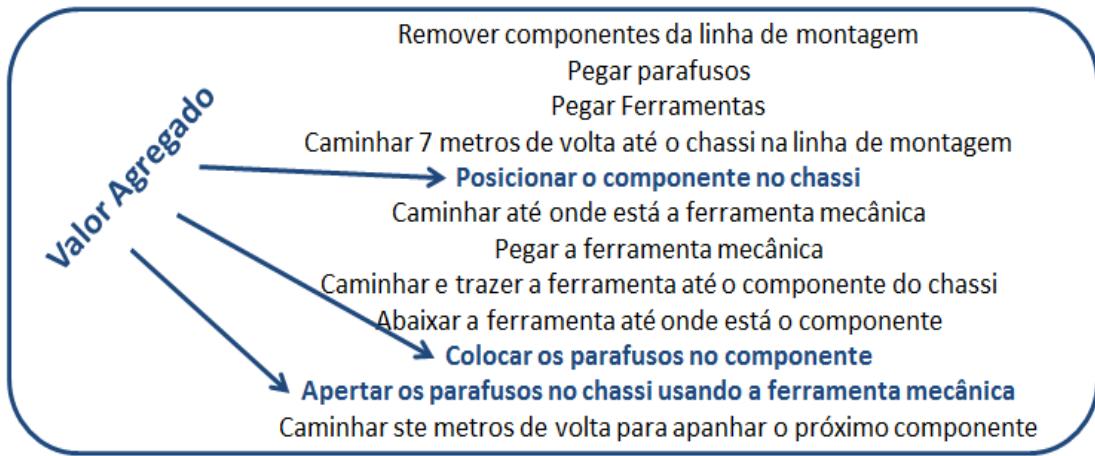


Figura 1: Desperdícios em uma linha de montagem de chassis.

Fonte: Adaptado (Liker, 2005).

Segundo Hines & Taylor (2000), dentro dos processos de manufatura, apenas 5% das atividades correspondem a atividades que agregam valor, já nos processos administrativos estas atividades correspondem a apenas 1%.

Ainda, de acordo com Hines & Taylor (2000), o foco da produção enxuta difere dos sistemas de produção tradicionais, uma vez que está relacionado à eliminação dos desperdícios atacando as atividades que não agregam valor, enquanto os sistemas de produção tradicionais objetivam aperfeiçoar as atividades que agregam valor.

Combinando estas afirmações e a Figura 2 é possível compreender as vantagens da abordagem da produção enxuta:

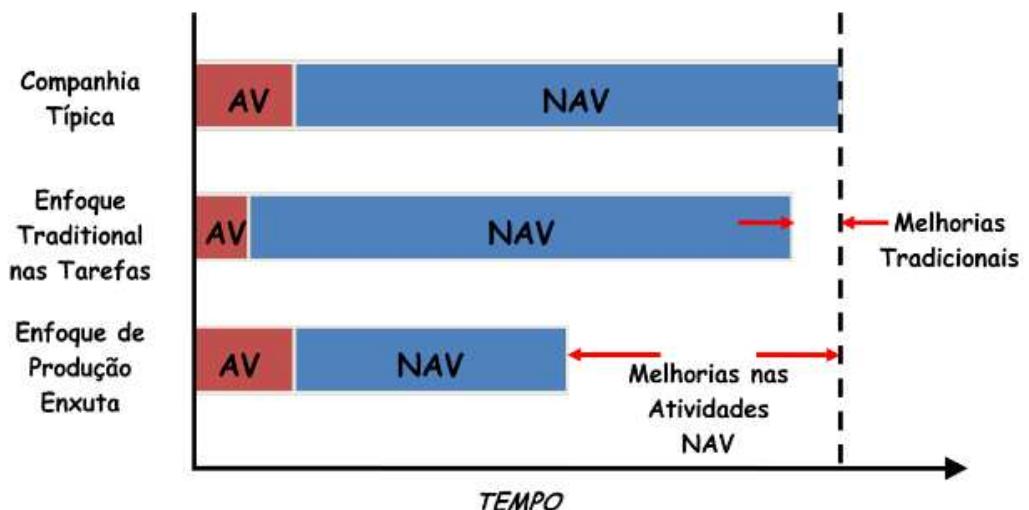


Figura 2: Composição de atividades na empresa e distintas abordagens de melhoria
Fonte: Adaptado (Hines & Taylor, 2000).

2.1.3. Princípios do pensamento enxuto

Segundo Womack & Jones (1996), a produção enxuta se sustenta em cinco princípios, a fim de tornar as empresas mais flexíveis, eficientes e, principalmente, atender as necessidades de seus clientes de forma mais efetiva conforme listado a seguir:

- a) identificar e definir o que realmente é valor sob o ponto de vista do cliente final; este é o ponto de partida para todas as decisões da empresa;
- b) identificar o fluxo de valor para cada produto: a empresa não deve tentar enxergar seus processos pontualmente, mas sim construir a visão de todas as atividades que compõe o fluxo para transformação de seus produtos;
- c) a criação de um fluxo contínuo é muito importante para fazer com que os materiais e informações fluam pelas etapas que efetivamente criam valor. Produzir em lotes unitários, com cada item sendo imediatamente passado ao processo posterior evita a geração de estoques ou a ocorrência de paradas;
- d) quando não for possível se estabelecer um fluxo contínuo, deve-se criar sistemas puxados, fazendo com que o cliente (interno ou externo) seja o responsável por determinar o que deve ser produzido;
- e) buscar a perfeição; a melhoria contínua deve ser sempre o objetivo de qualquer empresa, sempre que um nível satisfatório for alcançado deve-se traçar novos rumos em busca de mais evoluções.

Uma versão mais completa dos princípios da Produção Enxuta foi proposta por Liker (2005), segundo a qual, existem 14 princípios que regem Sistema Toyota de Produção. Tais princípios estão divididos em quatro categorias de acordo com o nível de penetração que representam: Filosofia, Processo, Funcionários e Parceiros e Solução de Problemas Figura 3:

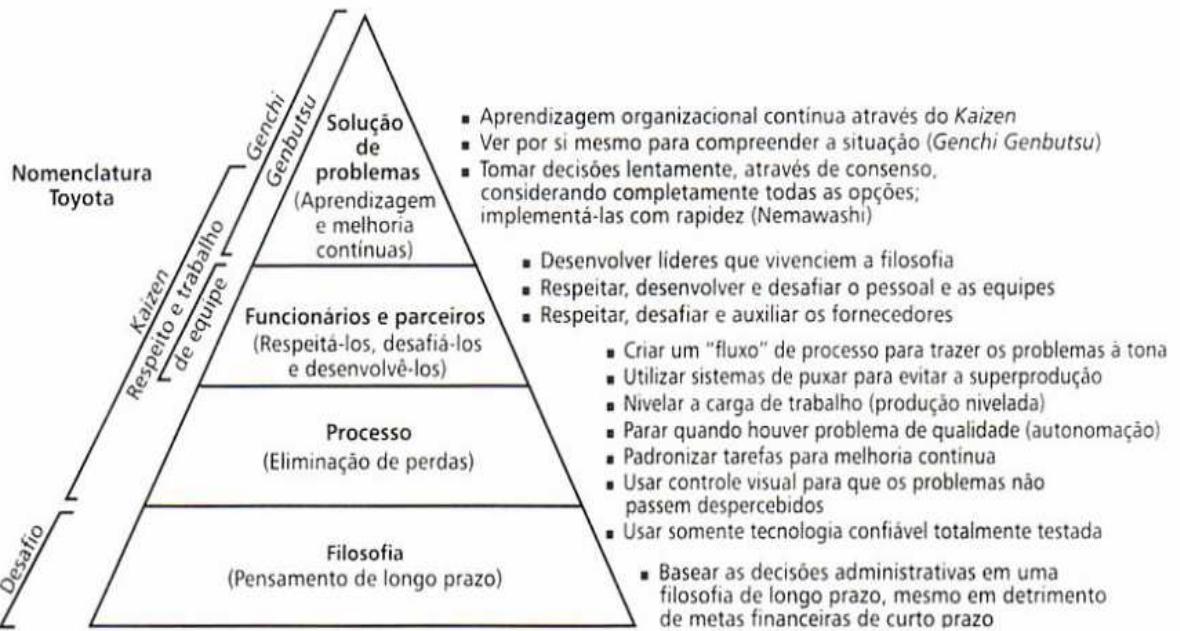


Figura 3: As quatro categorias do Modelo Toyota
Fonte: Liker (2005).

Ainda, Segundo Liker (2005), a maioria das empresas não ultrapassou a fase de mais superficial dos princípios da Toyota, pois apenas utilizam as técnicas e ferramentas da produção enxuta, e não concentram em atingir a filosofia da melhoria contínua, necessária para a sustentabilidade dos princípios e prosperidade da organização.

2.1.4. O DMAIC como modelo para condução de mudanças

Segundo Rentes (2000), pode-se considerar que mudanças até aconteçam de forma não planejada, ou que a intuição pode levar a definições corretas sobre melhorias, mas muitas das transformações de uma empresa não são bem sucedidas simplesmente por falta de uma metodologia clara de gestão de mudanças.

Os costumes e crenças das pessoas envolvidas em uma organização podem constituir uma barreira cultural que prejudica o processo de mudança, especialmente na sustentabilidade das melhorias implantadas. O processo de transformação é basicamente um processo de incertezas, muitas coisas podem dar

errado, e a tênue confiança das pessoas neste processo depende do sucesso das ações praticadas. A fim de evitar falhas e insucessos (que podem ser originados até mesmo fatores macroeconômicos e catástrofes naturais) é extremamente importante evitar falhas no processo de condução do processo de mudança (RENTES, 2000).

Nos anos 80, com o objetivo de reduzir drasticamente o número de defeitos em seus produtos e aumentar assim sua competitividade em um setor em forte expansão, a Motorola iniciou uma estratégia de gestão de negócios denominada *Six Sigma*, com ela foi desenvolvida uma metodologia para gerir as mudanças que estavam acontecendo, denominada DMAIC, inspirado no ciclo de Deming, ou PDCA (*Plan – Do – Check – Act*), esta metodologia compreende a definição de cinco fases (*Define, Measure, Analyse, Improve, Control*), que podem ser traduzidas em ações, as quais seguem uma ordem cronológica.

Mais tarde, a união de elementos das correntes de melhoria baseadas no *Six Sigma* e na Produção Enxuta originou o termo *Lean Six Sigma* para designar uma ferramenta mais abrangente para resolução de problemas e condução da melhoria contínua.

Hominiss Consulting adaptou o DMAIC como metodologia para a condução de projetos de melhorias continua baseados no *Lean Production*. As atividades importantes de um projeto deste tipo passam então a fazer parte de cada uma das fases do DMAIC como sugerido a seguir :

- a) *d (define)*: Aqui são definidos os requisitos do cliente (empresa na qual se realizará o projeto), levando-se em conta o que é realmente valor para ele. Entre os resultados desta fase devem estar contemplados a definição de escopo do projeto, cronogramas, agendas que regerão as próximas etapas;
- b) *m (measure)*: Aqui é feita a medição e coleta de dados da situação atual da empresa. É desenhado o projeto da situação atual da empresa, é também nesta fase que são levantados os problemas da empresa, as interrupções do fluxo e todos os desperdícios que sua operação apresenta;
- c) *a (analyse)*: Nessa etapa deve-se analisar a fundo tudo o que foi levantado na etapa anterior, identificando as relações de causa e efeito, investigando as raízes dos problemas. Neste momento, uma

visão holística dos números é muito importante, a fim de buscar interceder com soluções de maior impacto para a empresa;

- d) *i (improve)*: É aqui onde são implantadas as soluções dos diversos cenários criados na fase anterior, normalmente essas melhorias são introduzidas em fases, de acordo com as que apresentarem ganhos mais significativos, o que dá origem à outra aplicação completa do DMAIC;
- e) *c (control)*: É uma fase crucial para efetiva sustentabilidade das melhorias que foram implantadas e para a busca da empresa em se tornar enxuta de fato. Nesta fase, se lança mão de ferramentas como *checklists*, gráficos de controle, Pareto de problemas, para garantir que as melhorias se sustentem ao longo do tempo e até mesmo para aperfeiçoá-las.

Segundo Rechulski & Carvalho (2004), a metodologia DMAIC não é um ciclo, pois ela não retorna a uma fase já completada. De fato, um estado futuro alcançado na fase *Improve* e controlado passa a ser o estado atual para um novo projeto, dando sequência ao processo de melhoria contínua, conforme mostra a ilustrado a seguir:

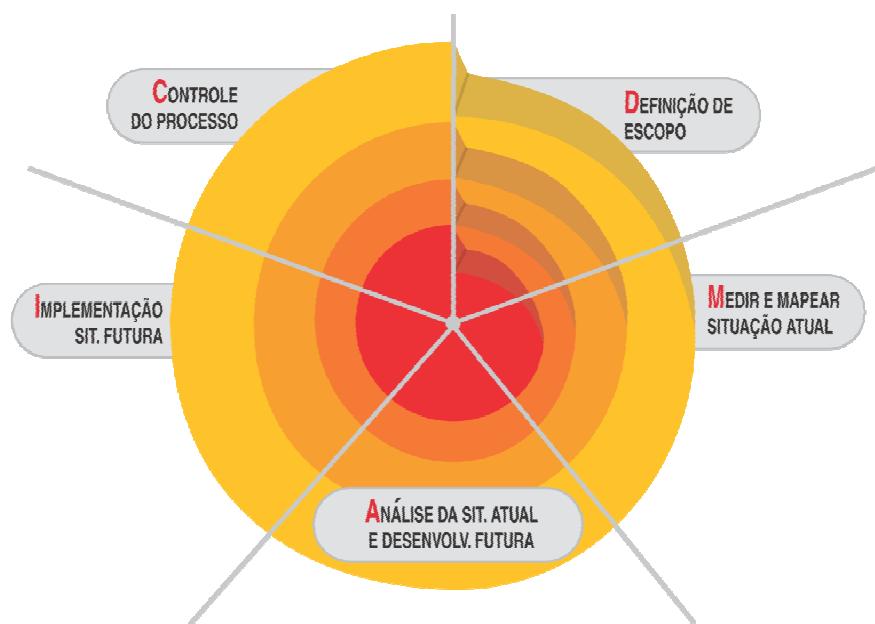


Figura 4: Representação do DMAIC e sua abordagem contínua
Fonte: HOMINISS CONSULTING (2011).

A utilização do DMAIC como metodologia de gestão para projetos aplicação do *Lean* tem se mostrado bastante eficaz, a própria Hominiss Consulting detém um grande portfólio de *cases* e soluções oriundos de projetos nos quais esta ferramenta foi utilizada.

2.1.5. Os sete desperdícios

Shingo (1996), afirma que a teoria do STP é baseada na eliminação sistemática e sustentável dos desperdícios nos processos produtivos, que tem como consequência a redução da parcela de atividades que não agregam valor no fluxo de valor. Segundo Ohno (1988), estes desperdícios podem ser classificados em sete categorias, de acordo com sua natureza:

- a) *Superprodução*: Produzir em maior quantidade e/ou mais cedo do que o cliente demanda é um sério desperdício. A empresa estará empregando recursos de desnecessariamente, gerando vários tipos de perdas. A superprodução é comumente classificada como causadora de vários outros desperdícios;
- b) *Estoques*: É resultado direto da superprodução traz consequências graves para a empresa, tem impacto direto no tempo que uma empresa leva para transformar investimento em receita.
- c) *Espera*: Falta de informações, peças, dispositivos, atrasos em operações podem ser causadores de esperas, períodos nos quais não há valor nenhum sendo agregado ao produto;
- d) *Transporte Excessivo*: Fazer um produto se deslocar por grandes distâncias dentro, ou entre fábricas, não agraga valor ao cliente final, mas gera muitos problemas dentro do fluxo de processamento;
- e) *Movimentação*: É diferente desperdício de transporte, pois está relacionada à movimentação dos operadores, quando estes executam atividades que não agregam valor para o cliente (caminhadas, procurando dispositivos ou peças, por exemplo);

- f) *Defeitos:* Erros frequentes no processamento de informação, problemas na qualidade do produto ou baixo desempenho na entrega utilizam recursos, mas não geram valor algum. Qualquer atividade corretiva destes exemplos são desperdícios, uma vez poderiam ser processados com a qualidade desejada já na primeira vez;
- g) *Processamento Inapropriado:* A utilização de um dispositivo improvisado, verificações de qualidade exageradas, sistemas ou procedimentos defasados, são exemplos desta categoria de desperdício, geralmente uma abordagem mais simples, atualizada ou revisada é mais efetiva.

Nazareno (2003) sugere na TABELA 1, a seguir, algumas possíveis causas desses desperdícios e suas possíveis soluções.

Tabela 1: Causas e Soluções para os Tipos de Desperdícios

Fonte: Adaptado (NAZARENO, 2003).

Desperdícios	Possíveis causas	Possíveis soluções
Superprodução	Áreas grandes de depósitos	Reducir o setup
	Custos elevados de transporte	Fazer só o necessário
	Falhas no PCP	“Puxar” a produção
Estoques	Aceitar superprodução	Sincronizar o fluxo Reducir setups
	Produto obsoleto	Reducir lead times Realizar a produção acompanhando a demanda
	Grande flutuação da demanda	Promover a utilização de projeto modular dos produtos Reducir os demais tipos de desperdícios
Espera	Espera por materiais	Sincronizar o fluxo de material
	Espera por informações	Balancear a linha com trabalhadores flexíveis
	Layout inadequado	Realizar manutenção preventiva
	Imprevistos de produção	
Transporte Excessivo	Layout inadequado	Projetar layout para minimização do transporte
	Lotes grandes	
	Produção com grande antecedência	Reducir a movimentação de material

Movimentação Excessiva	Layout inadequado	Realizar estudo de movimentos
	Padrões inadequados de ergonomia	Reducir deslocamentos
	Disposição e/ou controle inadequado de peças, matéria-prima, material de consumo, ferramentas e dispositivos	Adotar sistemas de controle pertinentes
	Itens perdidos	
Defeitos	Processos de fabricação inadequados	Utilizar mecanismos de prevenção de falhas
	Falta de treinamento	Não aceitar defeitos
	Matéria-prima defeituosa	
Processamento Inapropriado	Ferramentas e dispositivos inadequados	Analizar e padronizar processos
	Falta de padronização	
	Material inadequado	Garantir a qualidade do material, ferramentas e dispositivos
	Erros ao longo do processo	

2.1.6. Ferramentas e técnicas da Produção Enxuta

A utilização pouco coordenada das técnicas e ferramentas que serão descritas neste momento, não é garantia da caminhada da empresa para tornar-se enxuta, segundo Liker & Hoseus (2008), as ferramentas e métodos não são os responsáveis pelo sucesso da Toyota, a verdadeira razão por trás de suas operações enxutas, de sucesso de seus produtos, das estratégias claras e de longo prazo de seus executivos, e do comprometimento de seus funcionários abrange uma abordagem mais profunda. Desde o início das suas operações, os líderes da montadora japonesa acreditaram que a chave para seu sucesso seria o investimento em pessoas; assim afirma-se que a relação com seus colaboradores se tornou a competência central da Toyota, e somente desta forma, se pôde construir uma empresa que refletisse, na totalidade, a pirâmide apresentada na Figura 3 deste trabalho.

De qualquer forma, o sucesso da jornada da Toyota expôs uma série de práticas, métodos e dispositivos, que deram origem a uma grande caixa de ferramentas, que enriquecida com rotinas igualmente prósperas oriundas de outras

empresas auxilia outras na jornada de quem busca incorporar os princípios do *Lean Production*.

Estas ferramentas vêm sendo aperfeiçoadas ao longo dos últimos anos, e hoje já existem várias adaptações para aplicação delas fora dos ambientes de manufatura, já se tornaram comuns customizações que permitem que estas ferramentas funcionem muito bem, por exemplo, em fluxos de escritórios, na construção civil ou, em serviços de saúde.

Abaixo estão listadas algumas das ferramentas originadas no STP ou em aplicações e adaptações dada produção enxuta:

Mapa do Fluxo de Valor (MFV):

Segundo Rother & Shook (1999), Um fluxo de valor é toda a ação (que agregue ou não valor) necessária para levar um produto pelo caminho das atividades essenciais, seja para seu desenvolvimento ou produção.

O Mapa do Fluxo de Valor é a ferramenta ajuda a enxergar e entender este fluxo, a forma como materiais, informações e trabalho interagem a medida que o produto caminha por ele.

O que se pode observar neste mapa é o caminho que os materiais percorrem, desde o fornecedor de determinada matéria-prima, passando gradualmente pelos processos produtivos, armazéns ou quaisquer outras rotas até sua chegada ao cliente (seja ele o consumidor final ou não). Outro rastro reproduzido no MFV é o deixado pelas informações que fluem desde o pedido do cliente, passando pelos sistemas de programação e controle da empresa, seus procedimentos, cada etapa da produção, até, enfim, sair sob a forma de solicitação de compra de insumo ou matéria prima.

Esta fotografia do que ocorre dentro da produção pode trazer muitos benefícios, como os listados Rother & Shook (1999), que tornam o MFV um valioso dispositivo dentro da caixa de ferramentas dos adeptos à produção enxuta:

- a) proporciona uma visão do fluxo de valor como um todo, e não simplesmente a avaliação de áreas ou processos individualmente, desconectados e isolados;
- b) presta-se não somente a identificar problemas no fluxo, mas principalmente a buscar as causas dos desperdícios;

- c) utiliza uma linguagem única para representar o que acontece no fluxo de valor; a compreensão sobre os processos, informações, materiais, tempos, passa a estar ao alcance de todos;
- d) o MFV é a base para um plano de implantação de melhorias;
- e) mostra a relação entre os fluxos de materiais e informações;

O Mapeamento do Fluxo de Valor tem como objetivo, não somente analisar e diagnosticar desperdícios na situação atual de uma empresa, mas também é a ferramenta com a qual se projeta uma situação que se deseja atingir no futuro.

Antes do início do mapeamento, faz-se necessário dividir a operação da empresa segundo similaridades nos fluxos de alguns de seus produtos.

Para isso, pode-se, por exemplo, criar uma matriz de Produtos vs. Processos de fabricação e avaliar quais destes produtos tem similaridades suficientes em seu fluxo para serem representados da mesma forma.

A seguir, na Figura 5 um exemplo didático de mapa de fluxo de valor atual:

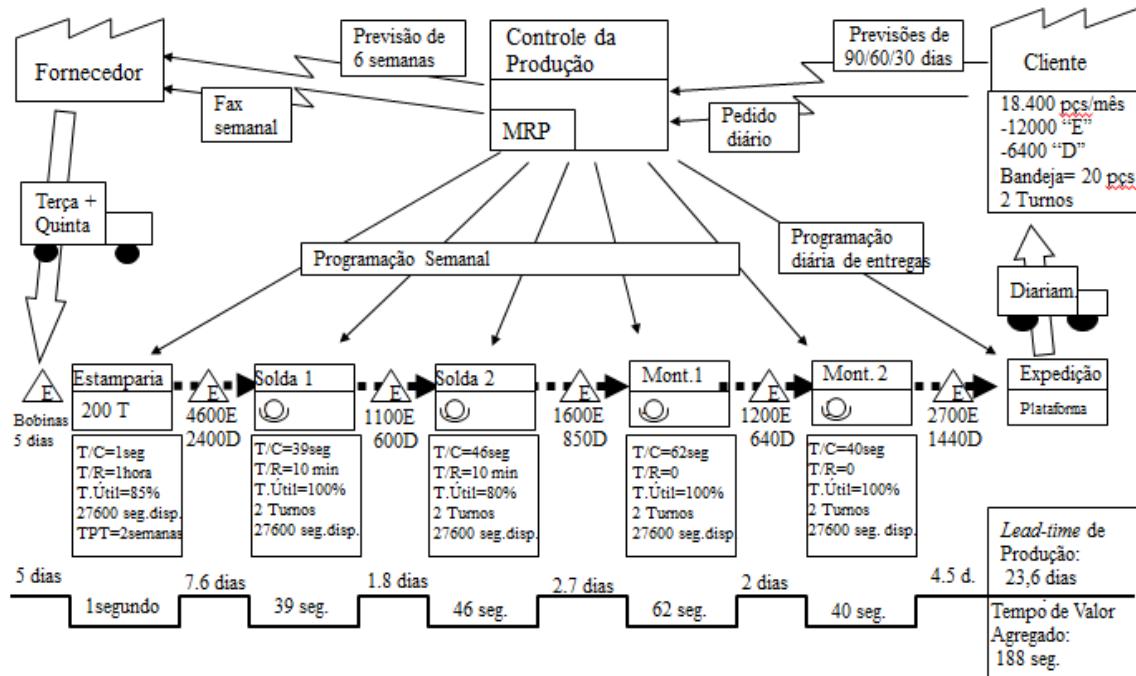


Figura 5: Mapa de fluxo de valor de um estado atual.

Fonte: Adaptado (ROTHÉR & SHOOK, 1999).

Na parte inferior do mapa de fluxo de valor estão representados, na sequencia em que ocorrem, todos os processos de transformação pelos quais a família de produtos passa, desde a entrada da matéria prima, vinda de fornecedores

(representados acima, e à esquerda) até a seu envio ao cliente após a expedição. Os triângulos entre os processos e as setas ligando-os são respectivamente os estoques convertidos em tempo (tanto estoques de matéria prima, WIP e de produtos acabados) e o tipo de fluxo pelo qual o material caminha. Na parte superior está representado o fluxo de informações; todos os controles e documentos que regem o trabalho na empresa.

Abaixo de cada processo há um quadro de informações o mesmo, onde estão registradas algumas informações pertinentes a sua compreensão e avaliação, como, por exemplo, a quantidade de turnos nos quais ele opera, se ele é dedicado à família de produtos do mapa, se existe um setup para opera-lo. Ainda, a algumas das informações presentes neste quadro se dá o nome de métricas *Lean*, definidas a seguir (ROTHER & SHOOK, 1999):

- a) **Tempo de ciclo (T/C):** É a frequência com que uma peça ou um produto saem de um determinado processo. Na prática esta medida é feita medindo-se o intervalo de tempo entre a saída de dois produtos consecutivos de um processo (ou a divisão do intervalo de saída entre dois lotes, dividido pelo tamanho do mesmo).
- b) **Tempo de agregação de valor (TAV):** É a somatória dos tempos das atividades que agregam valor pelas quais o produto passa.
- c) ***Lead Time (L/T):*** É o tempo de travessamento, ou o tempo que uma peça leva para ser processada, pode-se considerar o *Lead Time* de um processo isolado, ou de todo o fluxo de valor, desde o começo (matéria-prima) até o fim (produto acabado).

Como afirmado anteriormente o MFV também é a ferramenta utilizada para representar a situação futura da empresa, a situação que se deseja alcançar com a jornada *Lean*. O DMAIC, descrito anteriormente, é utilizado por Hominiss Consulting para se criar o MFV da situação futura da empresa a partir das condições atuais, utilizando o MFV, neste processo, o foco principal ao projetar-se a situação futura é a eliminação ou redução das atividades que não agregam valor ao produto/serviço.

O 5S:

O 5S é um conjunto de passos que objetiva organizar o ambiente de trabalho para aumentar produtividade e diminuir desperdícios associados aos processos de negócio. O 5S serve também para criar uma base sólida para implantação de outras ferramentas da Produção Enxuta.

Iniciativas de utilização do 5S são uma boa maneira de tornar visíveis o processo de mudança, com ideias simples e bastante visuais.

O 5S, também elaborado no Japão, tem este nome por referir-se a cinco passos para melhorar o ambiente de trabalho, no idioma local, todos começam com a letra “S”: *Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke*. Correa & Correa (2005), citam alguns benefícios do 5S:

- a) maior motivação e empenho do trabalhador, devido a uma melhoria das condições do ambiente de trabalho,
- b) menor índice de acidentes, devido à limpeza e organização do ambiente de trabalho;
- c) maior produtividade, proporcionada pela organização e padronização.

A seguir, cada um dos 5S's são definidos por Ribeiro (2006):

Seiri (Senso de utilização):

O objetivo desse primeiro senso é identificar os itens e ferramentas realmente úteis presentes nos postos de trabalho, e eliminar de lá os que não são necessários.

É muito comum o acúmulo nas estações de trabalho de objetos que não tem função nas atuais operações realizadas naquele local, exemplos destes objetos podem ser peças refugadas, dispositivos utilizados em produtos que não são mais processados, ferramental de almoxarifados deixados no posto de trabalho, itens pessoais, material de limpeza, EPI's ou até mesmo lixo e outros tipos de sujeira.

No primeiro momento esses objetos, a princípio, inúteis, são identificados, separados e recebem alguma indicação que deixe claro seu despropósito (etiquetas vermelhas, por exemplo), depois é sugerido que se deixe estes itens em um local separado e longe dos postos de trabalho, até que se valide de que se tratam realmente de itens desnecessários.

Aspectos comportamentais pode fazer com que as pessoas relutem em se desfazer de alguns objetos e ferramentas, porém a aplicação deste primeiro senso tem grande impacto nos resultados do 5S e deve superar estes vícios.

Seiton (Senso de Ordenação):

Depois de uma primeira arrumação dos locais de trabalho, com a retirada de tudo que não é indispensável para a realização das tarefas, orienta-se estabelecer um método para organizar e manter os postos de trabalho padronizados.

A perspectiva de aumentar a produtividade nos postos de trabalho, através da eliminação das perdas de tempo e de eficácia, é o fator que justifica o trabalho nesta fase. Saia (2009) define algumas recomendações para que estas melhorias sejam alcançadas:

- a) identificar a melhor localização para que os itens necessários possam facilmente ser utilizados e arrumados;
- b) organizá-los de forma que seja fácil manter o padrão estabelecido;
- c) garantir que estejam ao alcance de todos os usuários.

Seiso (Senso de Limpeza):

Um local de trabalho limpo, organizado, com equipamentos funcionando devidamente proporciona a realização de tarefas de forma mais eficiente e agradável.

O objetivo deste terceiro senso vai além de prezar por manter o ambiente livre de sujeira, comprehende-se também por limpeza, manter os equipamentos e ferramentas devidamente manutenidos, calibrados e aferidos, em condições plenas de uso, tarefa esta, de responsabilidade do operador. Máquinas e equipamentos devem estar livres de vazamentos e desgaste excessivo ou outras fontes de não conformidades.

Por fim, pode-se resumir que, neste ponto, é extremamente importante não somente ser responsável por limpeza de sujeira nos postos de trabalho, mas principalmente ser proativo para eliminar fontes de desarmonias.

Seiketsu (Senso de Padronização):

O quarto “S” já faz parte de um estagio mais avançado da aplicação do 5S, e tem como objetivo definir uma metodologia que permita manter e controlar os sensos anteriores Saia (2009).

A definição por escrito dos aspectos a serem controlados, de forma clara e não ambígua é um importante instrumento para atingir os objetivos desta etapa. Saia (2009) novamente descreve recomendações para realizar este controle:

- a) criar mecanismos que denunciem um item não fora do local coreto;
- b) definir limites visuais para estoques;
- c) definir e materializar controles e indicadores para monitorar a adesão aos padrões.

Shitsuke (Senso de Autodisciplina):

A sustentabilidade de qualquer tipo de melhoria esta intimamente ligada ao sucesso da mesma em se tornar parte do cotidiano das pessoas, para isto um esforço coletivo deve ser observado até que novos padrões sejam incorporados quase que organicamente.

O último dos “S” nada mais é do que a explicitação da importância do fator disciplina para sustentar as outras melhorias. Comunicação e autodisciplina aliadas às práticas de controle para indicar problemas da adesão aos novos padrões são fatores indispensáveis para a perpetuação do que foi implantado nos sensos anteriores.

Muitas empresas não obtêm bons resultados com o 5S, principalmente por focar a parte prática da ferramenta (os três primeiros sensos) e depois, negligenciam a correta aplicação do quarto e quinto sensos. A inércia no comportamento das pessoas faz com que dia após dia, novos padrões sejam deixados de lado ate que se retorne ao ponto de partida. Sendo assim, o respeito à cronologia das etapas do 5S, bem como a efetiva aplicação de todos os sensos são condições *sine quibus non* para sucesso desta ferramenta.

Fluxo Contínuo:

Conforme referenciado anteriormente, Womack & Jones (1996) definem que um dos cinco princípios da produção enxuta é a criação de fluxos contínuos. Produzir em fluxo contínuo significa, idealmente, que deve processar e movimentar apenas uma peça de cada vez construindo o que é também chamado de fluxo de uma só peça (*one-piece flow*). A Figura 6 ilustra uma situação em que o fluxo contínuo é utilizado.

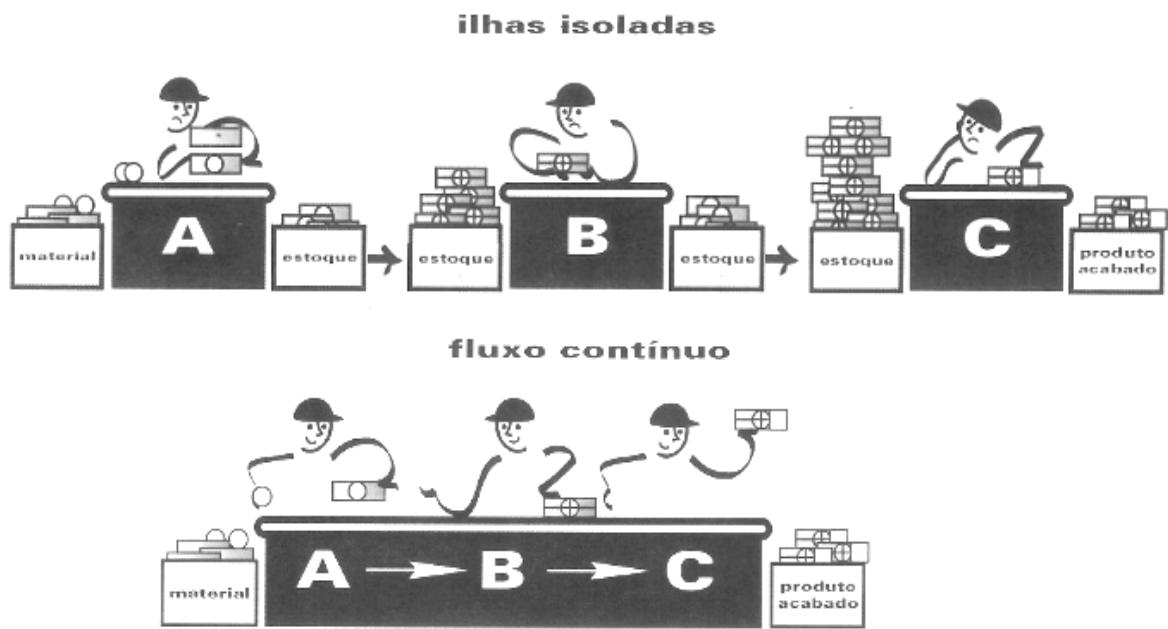


Figura 6: Processamento em lotes e em fluxo contínuo
FONTE: Adaptado (ROTHER & SHOOK, 1999).

O fluxo contínuo pode ser realizado tanto em linhas de produção ou montagem quanto em células manuais ou automáticas (ROTHER & HARRIS, 2002). Nesta segunda situação desenvolve-se um arranjo dos equipamentos e máquinas aproximando-os e, em geral, dispondo-as em forma de “U”, aproximando as áreas de entrada e saída de material.

A redução de desperdícios relacionada ao fluxo contínuo está associada principalmente a evitar a superprodução, que por sua vez, normalmente é a causadora de vários outras atividades que não agregam valor, segundo Ohno (1988); reduzindo-se a superprodução se diminui também a movimentação de materiais, esperas, transporte, estoques intermediários e até mesmo na quantidade de defeitos (principalmente a agilidade em constatá-los). Outra vantagem inerente

ao fluxo de uma só peça é a garantia de que o primeiro produto que chega seja o primeiro a sair, ou seja, que respeite a sistemática FIFO (*First In First Out*).

Sistemas Puxados:

Outro princípio da produção enxuta afirma que onde não for possível criar-se o fluxo contínuo deve-se estabelecer a produção puxada; (ALMEIDA, 2006 *apud* SAIA, 2009) afirma que puxar a produção significa que cada etapa do processo só produzirá um bem ou serviço quando seu cliente (externo ou interno) o solicite. O objetivo de um sistema puxado é controlar a produção no processo do fornecedor, evitando a necessidade de programação e desperdícios.

Em um sistema puxado, a produção ocorre baseada na demanda real e não mais em previsões, como é normal em sistemas de produção tradicionais (empurrados), evitando-se assim vários desperdícios, principalmente a superprodução.

Os sistemas puxados podem prever a existência de pequenos estoques controlados chamados de supermercados. Neste cenário Rother & Shook (1999), afirmam que, ao lançar-se mão de sistemas puxados, é bastante importante respeitar a sistemática FIFO para manter a precisão na produção e na sequência de movimentação de materiais, garantindo que a primeira peça a entrar em um processo ou local de armazenamento também seja a primeira peça a sair, evitando que as mesmas se tornem obsoletas ou passem a apresentar não conformidades.

Redução do tempo de Setup e o SMED:

Kannenberg (1994) define o tempo de setup como a soma de todos os tempos das atividades necessárias entre se parar de produzir um produto específico e se produzir outro com qualidade, na manufatura este período é bastante visual, e pode-se inclusive exemplificar várias destas atividades como sugerido pela figura abaixo:

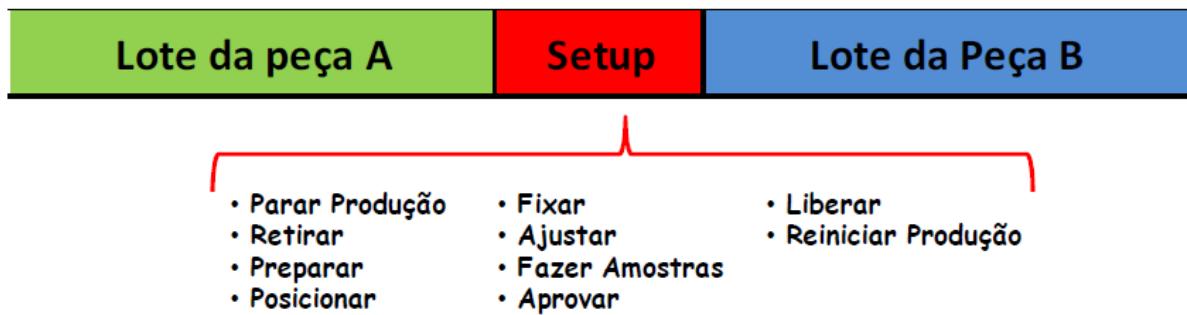


Figura 7: Exemplificação das atividades que compõem o tempo de setup

Fonte: HOMINISS (2007).

Em 1983 Shingeo Shingo lançou a primeira versão de um livro posteriormente traduzido para o inglês cujo título traduzido era: *A Revolution in Manufacturing: The SMED System*. SMED (*Single Minute Exchange of Die*) é um conjunto de ações que objetiva trazer o tempo de setup para um valor inferior a dez minutos.

Para isso Shingo considera que as atividades que são necessárias para se alterar o produto a ser executado em determinado processo, podem ser classificadas em duas etapas do setup; as que só podem ser executadas mediante interrupção do processo fazem parte do setup interno, já as outras que podem ocorrer paralelamente ao processamento em si compõe o setup externo.

Os maiores ganhos na redução do setup oriundos da aplicação do SMED estão relacionados à separação clara destas etapas, a realização das atividades de setup externo durante o ciclo do processo e ao esforço para se converter setup interno em externo.

A razão pela qual se busca a redução do tempo de setup é que, desta forma se propicia a execução de lotes menores em processos onde o fluxo contínuo ainda é difícil, a Figura 8, mostra esta relação entre tempo de setup e flexibilidade de produção:

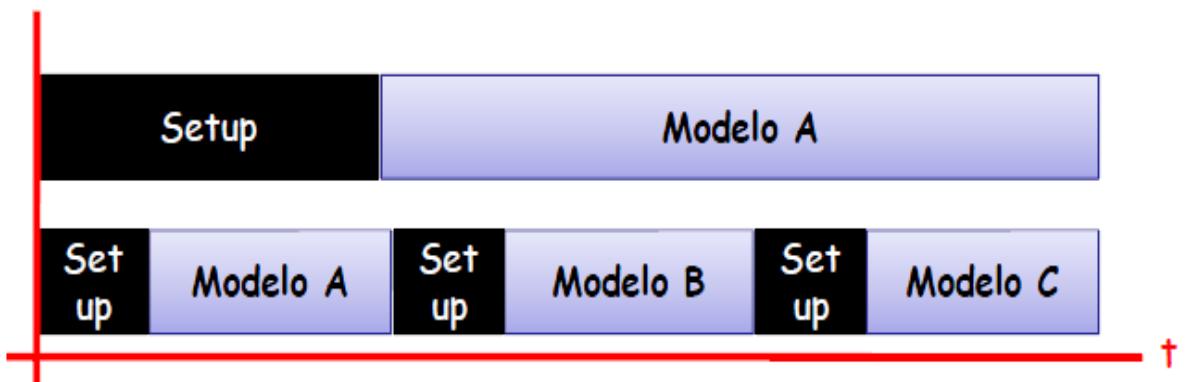


Figura 8: Comparativo entre flexibilidade e redução do tempo de setup
Fonte: HOMINISS (2006).

Padronização do Trabalho

O trabalho padronizado é usado para estruturar as atividades realizadas pelos operadores, analisar boas formas de fazê-lo e promover a repetitividade dos processos. Os métodos de padronização do trabalho identificam todas as atividades a serem realizadas e as organizam na melhor sequência, usando a combinação de recursos mais eficiente incluindo pessoas materiais, métodos e máquinas.

O objetivo final desta ferramenta está associado à capacidade de se medir e avaliar o desempenho dos processos a todo momento. No instante em que se estabelecem padrões para executar uma tarefa, desvios do padrão e até mesmo sua eficiência passa a ser percebida mais facilmente.

Formoso, (2000) afirma que em ambientes de construção civil esta ferramenta é particularmente útil, afinal os processos tendem a ser mais extensos, portanto apresentam maior variabilidade de formas para executá-lo, consequentemente um estudo sobre boas formas de fazê-lo, a fim de se estabelecer padrões de operação vem proporciona diversos resultados benéficos para a operação da empresa.

Manutenção Produtiva Total (TPM):

Segundo Bresciani (2009), a definição de TPM dada pelo *Japanese Institute of Plant Maintenance* (JIPM) é “Esforço elevado na implementação de uma cultura corporativa, que busca a melhoria da eficiência dos sistemas produtivos, por meio da prevenção de todos os tipos de perdas, atingindo assim o zero acidente, zero defeito e zero falhas durante todo o ciclo de vida dos equipamentos, cobrindo todos os departamentos da empresa incluindo Produção, Desenvolvimento, Marketing e Administração, requerendo o completo envolvimento desde a alta administração até a frente de operação com as atividades de pequenos grupos”.

O TPM é programa que visa auxiliar o perfeito funcionamento de todas as operações de uma organização, eliminando quebras de equipamentos ocasionadas por maus uso ou falhas de manutenção.

Entre as recomendações do TPM está a classificação dos tipos de manutenção que devem ser operadas sobre uma máquina ou equipamento, e para cada uma o estabelecimento de frequências de realização, responsáveis e sistemas de controle. Almeida (2006) afirma que o envolvimento do operador realizando manutenções autônomas, menos complexas e mais frequentes, tem enorme impacto na eliminação dos tempos de espera por máquina quebrada, ou em manutenção externa.

Deste modo o TPM tem como forte propósito a capacitação das pessoas envolvidas na produção tornando-as mais multifuncionais e flexíveis, mudanças que podem garantir altos níveis de produtividade e qualidade sem desperdícios.

Poka Yoke (Sistemas a Prova de Erro):

O termo *poka yoke* significa à prova de erros, trata-se de um método ou dispositivo que busca eliminar os defeitos causados por falhas ou erros humanos.

O objetivo dos *poka yoke* é aperfeiçoar ou até automatizar tarefas que necessitariam da atenção ou memorização por parte do operador, e que pode gerar muitas falhas. Esses dispositivos podem ser muito simples como, por exemplo, testes do tipo “passa ou não passa” para controlar dimensões de peças, ou botões separados para ativar prensas, mas também existem *poka yokes* que são sistemas de controle mais robustos e elaborados. Em ambos os casos a função deles dispositivos pode ser tanto minimizar erros como descartar peças defeituosas.

Evento Kaizen (EK):

Kaizen é uma expressão, em idioma japonês, que ganhou uma conotação bem forte no período pós-guerra já que representava a busca pela melhoria, contínua e duradoura, esta mudança sustentável poderia levar o país asiático, destruído nos anos 40 a se reestruturar e dar melhores condições de vida a seus cidadãos.

As implicações dietas dessa busca pelas empresas e demais organizações do país refletiu o enorme anseio por aumento de produtividade e qualidade em suas operações, porém, com o mínimo de investimento. Atualmente intitulamos *Kaizen* as iniciativas que, de forma geral objetivam melhorar continuamente as rotinas das empresas.

Imai (1990) lista dez mandamentos que devem ser seguidos ao buscar-se este tipo de iniciativa:

- a) o desperdício deve ser eliminado;
- b) melhorias graduais devem ser feitas continuamente;
- c) todos os colaboradores devem estar envolvidos, sejam gestores ou operadores do chão-de-fábrica;
- d) as melhorias devem ser feitas sem a necessidade de grandes investimentos. Deve-se usar a criatividade para a realização de mudanças simples que surtam grande efeito nos resultados;
- e) aplica-se em qualquer lugar, e não somente dentro da cultura japonesa;
- f) apoia numa gestão visual, numa total transparência de procedimentos, processos e valores. Torna os problemas e os desperdícios visíveis aos olhos de todos;
- g) foco no principal local onde se realmente cria valor, ou seja, chão de fábrica;
- h) orienta-se para os processos;

- i) prioriza as pessoas e acreditam que o esforço principal de melhoria deve vir de uma nova mentalidade e do estilo de trabalho das pessoas (orientação pessoal para a qualidade, trabalho em equipe, apreço pela sabedoria, elevação do moral, autodisciplina, círculos de qualidade e prática de sugestões individuais ou de grupo);

j) o lema essencial da aprendizagem organizacional é “aprender fazendo”;

Evento Kaizen não é o mesmo que filosofia Kaizen, na verdade se trata de uma metodologia de implantação de melhorias para redução dos desperdícios na operação de empresas, mais especificamente um Evento Kaizen, segundo muitos autores sequer reflete fidedignamente o que orienta a filosofia Kaizen. De fato os saltos de desempenho obtidos com eventos (principalmente em empresas que estão iniciando um processo de melhoria, e em ambientes *brownfield*), são mais radicais e podem ser melhor traduzidas na expressão japonesa *Kaikaku* que engloba as mudanças mais radicais.

A Figura 9 a seguir ilustra essas duas abordagens do ritmo de implantação de melhorias:

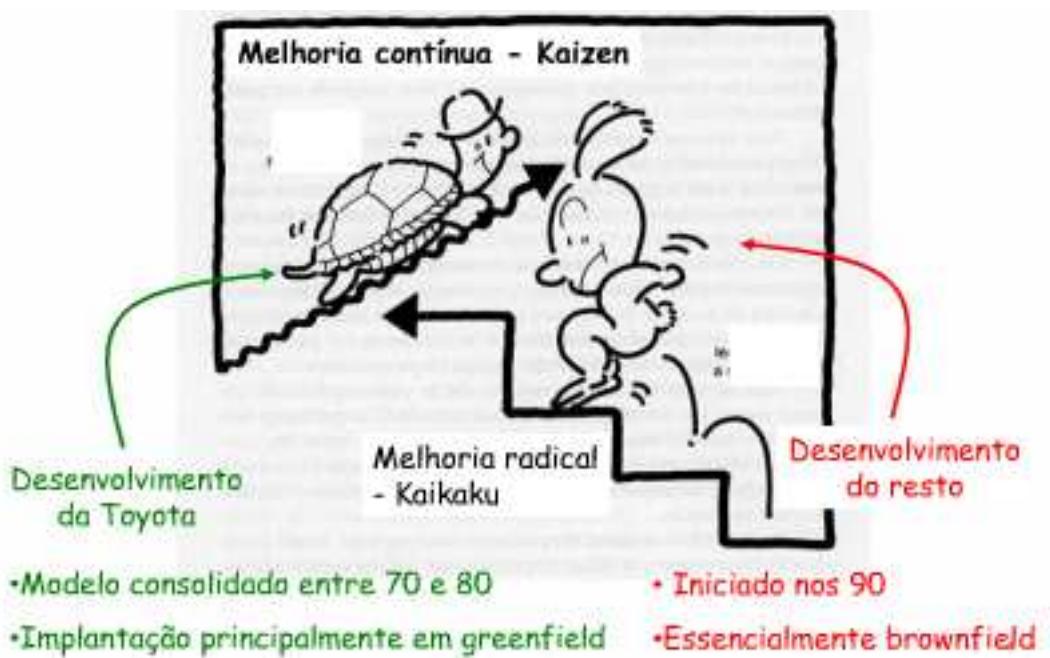


Figura 9: Melhoria contínua (Kaizen) versus Melhoria radical (Kaikaku)
Fonte: Adaptado HOMINISS CONSULTING, 2011.

A metodologia do Evento Kaizen prevê um cronograma apertado (geralmente uma semana) para a implantação de uma série de melhorias. Esta abordagem evita que se renegue o senso de urgência e importância em realmente dedicar esforços e recursos à iniciativa de mudança, segundo Rentes (2000), se o processo de mudança for conduzido vagarosamente, corre sério risco de ficar a mercê de tempos

de folga dos participantes, que tendem a considerar suas atividades de rotina mais importantes em termos de prioridade, assim o processo de mudança corre o risco de não pegar o embalo nem o estado de espírito necessários para seu sucesso.

Um Evento Kaizen é executado por uma equipe formada somente para a ocasião da implantação das melhorias, Hominiss Consulting lista algumas considerações importantes ao se definir este time:

- a) equipe geralmente composta de 5 a 8 membros;
- b) a equipe do evento deve ser multidisciplinar e contar com especialistas nos processos na área da mudança, pessoas que desempenhem atividades de suporte que impactem na área e também por membros de outras áreas, que geralmente contribuem bastante com idéias novas e mais radicais,
- c) a estrutura da equipe do EK deve contar com um líder, um co-líder, um consultor (interno) e demais membros;
- d) deve ser dimensionada para cumprir seus objetivos em cinco dias;
- e) os membros da equipe devem ter dedicação exclusiva para o Evento Kaizen, “não tem mais nada a fazer na semana”;
- f) durante a semana do evento, a equipe tem prioridade na utilização dos recursos da fábrica e na coleta de informações necessárias.

Um Evento Kaizen padrão segue um cronograma de atividades bem definido; a **Erro! Fonte de referência não encontrada.** a seguir ilustra uma sugestão das atividades relacionadas a cada período da semana do EK:

Tabela 2: Cronograma de um Evento Kaizen Padrão
Fonte: Adaptado (HOMINISS CONSULTING, 2011).

	Manhã	Tarde
Segund a-feira	TREINAMENTO	PLANEJAMENTO
	<ul style="list-style-type: none"> ● Presença dos patrocinadores ● Apresentar situação atual e 	<ul style="list-style-type: none"> ● Levantamento de dados ● Divisão de Tarefas

	problemas ● Apresentar objetivos	● Cronograma ● Metas e Objetivos
	AÇÃO DO KAIZEN	AÇÃO DO KAIZEN
Terça-feira	● Confeccionar gestão visual ● Confeccionar ferramentas e dispositivos ● Separar peças ● Definir Locais	● Confeccionar gestão visual ● Confeccionar ferramentas e dispositivos ● Separar peças ● Definir Locais
Quarta-feira	AÇÃO DO KAIZEN	AÇÃO DO KAIZEN
	● Demarcar áreas ● Arrumar estoques	● Pintura da área ● Organizar e Limpar ● Documentação da Qualidade
Quinta-feira	AÇÃO DO KAIZEN	AÇÃO DO KAIZEN
	● Medir resultados ● Validar padrões ● Testar os novos padrões de trabalho	● Documentar atividades realizadas ● Documentar resultados ● Definir Próximos passos ● Preparar apresentação
Sexta-feira	APRESENTAÇÃO	FOLGA
	● Presença dos patrocinadores ● Realizar <i>Gemba Walk</i>	● Celebração (almoço) ● Folga

Recomendações para construção da situação futura:

Rother & Shook (1999) afirmam que para a redução do *lead time*, muitas vezes é necessário fazer mais do que tentar reduzir desperdícios óbvios, a abordagem de simplesmente atacar os “sete desperdícios” pode deixar de lado a identificação das causas básicas dos mesmos.

Neste sentido um sistema de produção enxuto deve buscar evitar a maior fonte causadora de desperdícios, a superprodução, e construir um processo para fazer somente o que o próximo processo necessita e quando necessita através de um fluxo regular que gere o menor *lead time*, a maior qualidade e o custo mais baixo (ROTHER e SHOOK, 1999).

Para construir este fluxo Rother & Shook (1999) sugerem um guia com sete procedimentos (recomendações) baseados nas práticas da Toyota que orientam o

projeto da situação futura, e servem como roteiro para a implantação de algumas das ferramentas do *Lean Manufacturing* mencionadas anteriormente neste trabalho. Na sequência estão brevemente descritas as recomendações:

1^a Recomendação: Produza de acordo com seu *takt time*:

Takt time é a razão entre o tempo total disponível para a produção de uma família de produtos e o numero de unidades demandadas da mesma família. Pode ser entendido como o ritmo que se precisa imprimir à produção da empresa para atender a demanda de seus clientes.

Producir em um tempo menor que o *takt time* significa superprodução, e em um tempo maior significa não atender á demanda do cliente.

2^a Recomendação: Desenvolva fluxo contínuo onde for possível:

Segundo Rother e Shook (1999) produzir em fluxo contínuo significa produzir uma peça de cada vez, passando imediatamente de um estágio do processo para o próximo sem nenhuma parada entre eles. A maneira mais eficiente de produção é o fluxo contínuo, afinal ele elimina muitos desperdícios atrelados à produção por lotes.

3^a Recomendação: Utilize supermercados para controlar a produção onde o fluxo contínuo não se estende aos processos fluxo acima:

Há algumas situações nas quais não é possível implantar fluxo contínuo; em processos realizados por fornecedores, ou nos quais não é possível a aproximação do demais, em processos como tratamentos térmicos que devem trabalhar em lotes devido a utilização fornos e autoclaves e em processos com tempos de ciclo muito rápidos ou muito lentos, fica muito limitada a criação do fluxo de uma só peça, e para estes casos, é importante criar sistemas puxados para conectá-los com o restante do fluxo.

Os supermercados dos sistemas puxados, talvez seja a melhor lição tirada por Eiji Toyoda e Taiichi Ohno na sua já comentada visita à América, estes estoques com pontos de reposição programados têm como objetivo determinar a ordem exata de produção para processo fornecedor, evitando desperdícios.

4^a Recomendação: Tente enviar a programação do cliente para somente um processo de produção:

Com o uso do fluxo contínuo e de sistemas puxados, não é mais necessário se programar toda a fabrica, como na produção em massa, mas somente um único ponto do fluxo de valor. Esse ponto do fluxo de valor é chamado de processo puxador e é frequentemente o primeiro processo de último fluxo contínuo presente no fluxo de valor.

5^a Recomendação: Distribua a produção de diferentes produtos uniformemente no decorrer do tempo no processo puxador (Nivele o *mix* de produção):

Quando uma empresa opera produzindo lotes muito grandes ela tem dificuldades para atender a flexibilidade exigida pelo cliente. Para atender a essa demanda, a empresa que trabalha com lotes maiores, se vê obrigada a aumentar seus estoques, principalmente no fim do fluxo, por consequência, seu *lead time* é aumentado (ROTHÉR e SHOOK, 1999).

Tendo isto em mente, esta recomendação orienta a empresa a distribuir a produção de diferentes produtos uniformemente e em pequenas quantidades durante um período de tempo (é o que é chamado de nivelar o *mix* de produtos).

6^a Recomendação: Crie uma “puxada inicial” com a liberação e retirada de somente um pequeno e uniforme incremento de trabalho no processo puxador (Nivele o volume de produção):

Assim como o nivelamento do *mix* de produção, o nivelamento do volume de produção aumenta a chance de conseguir responder às diferentes solicitações dos clientes. Liberar grandes lotes de trabalho para os processos pode trazer vários problemas como mascarar o ritmo que se deve imprimir à produção (*takt time*), criar irregularidades no fluxo de trabalho, dificultar o monitoramento da produção, dificultar a resposta a alterações de pedidos do cliente.

Para nivelar tanto o *mix* como o volume de pode ser utilizado um quadro de programação chamado *heijunka box*; nele é mostrada a programação do processo puxador, na qual em cada incremento de trabalho “*pitch*” está programado para ser produzido um determinado produto. O *pitch* é calculado levando-se em consideração o *takt time* multiplicado por um múltiplo da quantidade de produtos presentes embalagem ou contenedor.

7ª Recomendação: Desenvolva a habilidade de fazer “toda peça todo dia” nos processos de fabricação anteriores ao processo puxador

Lotes menores, tempos de *setup* reduzidos podem oferecer um cenário muito responsivo para as necessidades dos clientes. A flexibilidade advinda destes fatores pode ser expressa através avaliada utilizando-se o conceito do TPT sigla para “toda parte todo período”. O TPT mede o intervalo no qual um processo se modifica e volta a produzir uma determinada peça. Para as peças mais importantes esta sétima recomendação sugere o esforço de se buscar a relação TPT = 1 dia, ou seja, todos os dias certa quantidade destas peças “classe A” serão produzidas.

2.2. CONSTRUÇÃO ENXUTA

2.2.1. Histórico

Os estudos sobre a criação de uma metodologia para a gestão da construção civil baseada nos princípios e conceitos desenvolvidos pelos criadores do STP e da produção enxuta foram impulsionados pelo trabalho publicado por Lauri Koskela, na Universidade de *Stanford*, EUA, em 1992, no qual é discutida a possibilidade de implantação do que ele chama de “nova filosofia da produção” a este contexto específico, neste momento autor critica o que ele denomina conceitualização tradicional da construção.

Segundo Koskela conclui neste trabalho denominado *Application of the New Production Philosophy to Construction*, a abordagem tradicional para a gestão da construção divide a operação em um conjunto de processos independentes com atribuição da responsabilidade por cada processo a um especialista. Tal visão, segundo ele, prejudica a gestão, na medida em que dá pouco valor ao fluxo dos processos e, por consequência, provoca a busca por ótimos locais, mesmo suprimindo o ótimo global do processo de construção.

Tendo em vista a ineficiência deste modelo, e as semelhanças com o cenário da manufatura dos anos 40, e com abordagem tradicional das empresas de vários setores, cujo foco está nas atividades que agregam valor sem permitir qualquer visão holística de seus fluxos, Koskela tenta criar paralelos que estimulem a adaptação de técnicas e ferramentas oriundas da produção enxuta às peculiaridades do setor da construção civil, formando assim as bases de uma nova metodologia de gestão da construção, que incorpore os conceitos de fluxo, agregação de valor e eliminação sistemática e sustentável de desperdícios.

O sucesso deste trabalho acabou por realmente estimular um movimento de adaptação da produção enxuta ao contexto da construção, considerando-se suas principais diferenças em relação à manufatura, e no ano seguinte a esta publicação foi criado o *International Group for Lean Construction*, ou Grupo Internacional para a Construção Enxuta (IGLC), que desde então tem promovido a realização de conferências anuais sobre este tema.

2.2.2. A produção na construção civil

Segundo Peneirol (2007) é consenso que a construção não possui uma característica única que a defina. No entanto a sua natureza é única em relação a outras indústrias e pode ser estabelecida através uma combinação de peculiaridades.

No esforço de definir as maiores entre essas peculiaridades Lauri Koskela (1992) lista quatro características da produção na construção civil:

- a) *natureza específica de cada projeto – produto singular;*

Esta característica deriva do fato de que, na maioria dos casos a produção é baseada num projeto de desenho e dimensionamento único, criado especificamente para determinado cliente.

- b) *produção posicional (gira em torno do produto final) e esta sujeita a entraves naturais;*

Significa que os produtos, de grande escala, obviamente não mudam de lugar; todo o trabalho, materiais, pessoas e tudo o que agrega valor ao produto se movimenta ao seu redor. Por esta característica peculiar a produção também fica sujeita a constantes atrasos devido à intempéries e dificuldades causadas pela natureza.

- c) *organização de carácter temporário e multifuncional;*

A organização temporária dificulta o desenvolvimento de fornecedores, e impõe, até certo ponto, uma mão de obra fragmentada, com alta rotatividade e com uma pluralidade de especialidades, portanto podendo dificultar a harmonização dos fluxos

- d) *intervenção regulatória constante.*

Esta característica é extremamente importante no contexto deste trabalho, afinal em obras públicas de infraestrutura, conforme a que será apresentada futuramente. Nestes casos série de procedimentos e regulamentações recaem sobre a execução da obra

Estas características, entretanto, não são exclusividade da construção civil, varias delas podem ser observadas em outros setores. Ambientes Engineer to Order apresentam significante singularidade em seus projetos, porém isto não impede de que essas companhias adotem práticas da manufatura tradicional na gestão de seus fluxos com bastante sucesso.

Produção posicional também é característica de diversas indústrias, como a naval e até a aeronáutica, que tem buscado se adaptar esta característica a novas ideias e à produção enxuta.

Qualquer desenvolvimento de produto envolve uma organização temporária e multifacetada, mas práticas do pensamento enxuto são muito comuns neste tipo de fluxo.

Vrijhoef & Koskela (2005) afirmam que essas particularidades da produção na construção, que foram definidas separadamente, na verdade têm forte relação entre si, conforme sugerido na figura a seguir:



Figura 10: Relações entre as particularidades do projeto/ produção na construção civil

Fonte: (VRIJHOEF & KOSKELA, 2005).

No entender de Vrijhoef & Koskela (2005), essas particularidades são causadoras de alguns dos desperdícios presentes na construção civil, portanto devem ser estudadas maneiras criativas de se minimizar esses efeitos. Vrijhoef & Koskela (2005) ainda trazem uma análise feita em diversos projetos de construção, com diferentes interferências de cada uma dessas particularidades, com diferentes graus de pré-fabricação e repetição, diferentes patamares de tamanho e complexidade. Como resultado os autores afirmam que se verificou que, focar justamente na aproximação do ambiente da construção a manufatura, através da

superação destas particularidades, resulta num menor número de desperdícios, ou pelo menos um menor esforço na gestão dos problemas ao longo do tempo.

2.2.3. A gestão tradicional da construção civil e a construção enxuta

Para Peneirol (2007) os modelos e técnicas convencionais de gestão da construção civil se mostraram ineficientes, sobretudo em projetos de grande escala e bastante dinâmicos. Ainda, segundo Ballard & Howell (1996) na gestão da construção tradicional os resultados são medidos em termos de custos e prazos, mas estes indicadores somente fazem algum sentido em um ambiente dinâmico se o respectivo sistema de gestão estiver sob controle. Traduzindo o que se faz tradicionalmente é fixar as metas do projeto, e somente se altera o planejamento da obra frente grandes falhas ou imprevistos. Ou seja, quando é necessário recuperar-se de um lapso de desempenho frente ao plano inicialmente estabelecido. Esta abordagem não enfatiza a busca pelas causas dos desvios e problemas.

Para Howell & Koskela (2000) este modelo de gestão tradicional se revelou insuficiente por diversas razões:

- a) desconsidera a incerteza presente na abrangência e nos métodos do projeto;
- b) considera a relação entre os processos simples e sequencial quando na realidade é mais complexa;
- c) enrijece as fronteiras das atividades, quando na verdade raramente a relação de precedência é tão sólida;
- d) foca na definição de ótimos locais nos processos, sem avaliar o impacto que possam ter no fluxo global;
- e) a gestão da produção está muitas vezes marginalizada no projeto.

Existe a necessidade de se controlar a gestão do fluxo na construção, e não somente os resultados. O primeiro indicador para este novo controle é um índice que meça a aderência ao planejamento e o levantamento dos desvios observados e suas causas. (PENEIROL, 2007).

Um cuidado que resulta diretamente desta nova forma de controlar a produção resultado é que uma tarefa só deve ser iniciada (ou colocada no planeamento de curto prazo) caso todas as suas necessidades e precedências estejam resolvidas antecipadamente. *Feedbacks* e medidas de acompanhamento da execução devem ser muito mais frequentes e padronizados, desta forma as causas dos problemas podem ser mais facilmente identificadas. (BALLARD & HOWELL, 1998 *apud* PENEIROL, 2007).

A Construção Enxuta surge como uma nova maneira de pensar o fluxo da construção civil, para fazê-lo, utiliza o pensamento enxuto como base de suas definições, inicialmente insere o conceito de fluxo de materiais e/ou informações desde a matéria-prima até o produto final para definir também a produção nos canteiros de obra.

Koskela (1992) afirma que de maneira geral, o sistema produtivo é composto por atividades de conversão (que agregam valor ao produto) e de fluxo (que não agregam valor). Assim a abordagem desta nova filosofia deve ser diminuir as atividades de fluxo e aumentar a eficiência das atividades de conversão.

Analogamente ao que a Toyota definiu para seu sistema de produção, Ballard & Howell (1998) afirmam que abordar as atividades de fluxo é de fundamental importância para melhorar o processo de planejamento e controle da produção. Sem sua compreensão, torna-se difícil tomar decisões que venham eliminar ou reduzir as causas de desvios na produção.

Para fim de comparação entre as duas formas de gestão, Abdelhamid & Salem (2005) propõem a Tabela 3, que lista diferenças práticas entre as abordagens tradicionais da gestão da construção civil:

Tabela 3: Comparação Construção Enxuta com a Gestão Convencional da Construção

Fonte: Adaptado (ABDELHAMID & SALEM, 2005).

Gestão Convencional da Construção	Lean Construction
Sabe-se como transformar materiais em produtos finais.	Sabe-se, também como transformar materiais em produtos finais.
Espera-se que ocorram falhas e alterações de projeto durante a construção, porém estes somente serão resolvidos de forma reativa.	Projeta-se o produto e o fluxo da construção em conjunto para evitar erros/omissões nos desenho e dimensionamento.

O gestor é o único responsável pelo planejamento.	Os gestores são os primeiros responsáveis pelo planejamento, encarregados e operadores também são responsáveis pelo planejamento e operação, porém, de forma mais micro.
Assume-se que reduzindo o custo de uma peça irá se reduzir o custo de todo o projeto – o custo do todo é a soma do custo das partes.	Trata-se todo o projeto como um sistema e faz-se uso do <i>Target Costing</i> para alcançar as reduções do custo de projeto – o custo todo é mais que a soma dos custos das suas partes.
Procura-se aperfeiçoar cada processo, à nível local, pensando erroneamente que esta é a forma de alcançar a eficiência global.	Procura-se aperfeiçoar a produção para maior processamento do sistema considerando ser a única forma de alcançar eficiência global.
Gere-se o processo utilizando os elementos que sem referem à evolução de custos – os quais estão na base dos pagamentos.	Utilizam-se os elementos de evolução de custos como um <i>Input</i> para o planejamento e controle das operações no canteiro de obras
Considera-se o paradigma de <i>trade-offs</i> de prazo/custo/qualidade.	Desafia-se o paradigma de <i>trade-offs</i> , o foco é remover as fontes de desperdício nos processos de desenho/produção como forma de melhorar o fluxo de valor.
Não se planeja ou se controla as operações de produção do canteiro de obras, a não ser que se verifique desvios de custo e de prazo – espera-se até que os problemas aconteçam para só então corrigi-los.	Planeja-se e controlam-se as operações de produção na obra para prevenir que os indicadores de desempenho do projeto não desviam dos prazos e custos definidos.
Parte-se da premissa que valor para o cliente é uma performance melhor com custos mais baixos.	Considera-se que valor para o cliente é quando o produto corresponde às necessidades do mesmo.

2.2.4. Os princípios da construção enxuta

Koskela (1992) lista 11 princípios que ajudam a projetar controlar e aperfeiçoar os fluxos na construção civil, princípios os quais podem ser aplicados tanto para projetar-se todo o fluxo total de transformação como seus processos e sub processos:

- a) Reduzir a parcela das atividades que não agregam valor;
- b) Aumentar a adição de valor ao produto através da consideração das necessidades dos clientes;
- c) Reduzir a variabilidade;
- d) Reduzir o tempo de ciclo;
- e) Simplificar minimizando o número de passos, partes e ligações;
- f) Aumentar a flexibilidade de saída;
- g) Aumentar a transparência do processo;
- h) Focar o controle global do processo;
- i) Instituir a melhoria contínua no processo;
- j) Equilibrar as melhorias dos fluxos das conversões;
- k) Benchmarking.

Alguns destes princípios têm relação direta, mas não possuem mesmo nível de abstração, alguns são mais fundamentais, enquanto outros são mais voltados para a aplicação (KOSKELA, 1992).

2.2.4.1. Reduzir a parcela de atividades que não agrega valor

Alguns dos princípios apresentados aqui são uma leitura direta dos conceitos e princípios do pensamento enxuto, tal como foram descritos anteriormente. Este primeiro, especificamente, nada mais é do que a base dos conceitos da produção enxuta definida no inicio desta revisão cujo foco de melhoria se da buscando a eliminação dos desperdícios atacando as atividades que não agregam valor. Segundo Formoso (2000), este é um dos princípios fundamentais da Construção Enxuta, a eficiência do processo de transformação, tal como na manufatura, serviços, etc. pode ser melhorada e as suas perdas reduzidas não só através da melhoria da eficiência das atividades do fluxo de valor, mas também pela eliminação de algumas das atividades do fluxo. O desempenho da operação da construção civil pode ser aperfeiçoado não só através da melhoria da eficiência das atividades de transporte de materiais, mas principalmente através da eliminação de algumas destas atividades.

O planejamento do arranjo físico do canteiro de obras pode ser uma ferramenta poderosa para implantar este princípio; com um bom *layout* se pode minimizar as distâncias entre os locais de descarga de armazenamento e utilização dos materiais, também racionalizar e simplificar o fluxo de materiais pessoas e informações como um todo.

KOSKELA (1992), entretanto, afirma que não é possível suprimir todo tipo de atividade que não agrega valor ao cliente final de forma direta, afinal existem atividades que sequer são enxergadas pelo consumidor, mas que são de fundamental importância para clientes internos ao fluxo. Pode ser citado como exemplos de atividades que não devem ser eliminadas controle dimensional, treinamento de mão-de-obra e instalação de dispositivos de segurança (ISATTO, 2000).

Por fim, é possível atacar diretamente a maior parte dos desperdícios apenas desenhandando o fluxo da construção e identificando e medindo as principais atividades que não agregam valor (KOSKELA, 1992).

2.2.4.2. Aumentar o valor do produto através da consideração das necessidades dos clientes

Esta é uma reafirmação do primeiro princípio do pensamento enxuto, o detalhe a ser observado é que Koskela (1992) faz questão de salientar a existência de dois tipos de cliente; o consumidor final e o cliente interno (a próxima atividade no processo) a demanda deste segundo deve ser bastante levada em consideração, principalmente na construção civil, que normalmente apresenta muitos processos em seu fluxo de valor.

Os processos do projeto da construção são muito importantes para este princípio; é aconselhável a aplicação de pesquisas de mercado que realmente sejam capazes de capturar e transformar em requisitos do projeto as necessidades e anseios do cliente final.

2.2.4.3. Reduzir a variabilidade

Koskela (1992) lista duas razões para se reduzir a variabilidade no processo produtivo:

- a) sob o ponto de vista do cliente, um produto uniforme é normalmente mais bem aceito;
- b) a variabilidade tende a alongar o *lead time* da obra como um todo, afinal aumenta os tempos de ciclo dos processos, e a parcela de atividades que não agregam valor.

Segundo Isatto (2000), existem diversos tipos de variabilidade relacionados ao processo de produção entre os exemplos recorrentes de variabilidade estão a variação dimensional nos materiais entregues; a falta de padrão para execução de um determinado processo; e a variabilidade na demanda do setor.

Existem algumas formas de minimizar essas variabilidades, o que não somente está ligado ao estabelecimento de padrões para os processos e procedimentos, mas também à incorporação de noções de controle estatístico ao processo, ou seja, medir ou estimar a variabilidade. Outra forma de fazê-lo é lançar-se mão de *poka yokes* para não deixar não conformidades se perpetuem (KOSKELA, 1992).

2.2.4.4. Reduzir o tempo de ciclo

A definição de tempo de ciclo dada por Koskela (1992) diverge da proposta por Rother & Shook (1999), descrita no início deste trabalho. Koskela (1992) define *cycle time* ou tempo de ciclo como “o tempo necessário para que uma peça particular percorra o fluxo, sendo então a soma dos tempos de processamento, inspeção, transporte e espera”. Para eliminar esta confusão e a fim de traçar paralelos dos onze princípios do *Lean Construction* com as práticas e recomendações da Produção enxuta consideraremos que a intenção deste princípio é a redução do *lead time* da construção.

Koskela (1992) caracteriza alguns dos benefícios oriundos da redução deste tempo através da eliminação das atividades que não agregam valor:

- a) Entrega mais rápida ao cliente;
- b) Redução da necessidade de prever demandas futuras;
- c) Diminuição de interrupções no processo produtivo devido a alterações na demanda;
- d) Facilidade na gestão do processo, pois haverá menos pedidos de alteração por parte dos clientes.

2.2.4.5. Simplificar através da redução do número de passos ou partes

A complexidade de um produto ou de um processo pode aumentar seu custo além da soma dos custos de cada parte ou passo que compõe os mesmos. Vários ganhos, difíceis de ser contabilizados com os sistemas de custeos tradicionais, estão associados à simplificação de produtos e processos. (KOSKELA, 1992).

Koskela (1992) afirma que a simplificação pode ser entendida como a redução do número de componentes de um produto ou a redução do número de partes ou estágios num fluxo de materiais ou informações. Para fazê-lo é necessário aliar os objetivos de eliminar atividades que não agregam valor do fluxo e reconfigurar as que agregam. (KOSKELA, 1992).

Bernardes (2001) afirma que uma forma de implantar esta visão através do processo de planejamento e controle da produção é buscar estabelecer, durante o planejamento da produção, a identificação de zonas de trabalho similares, o que pode garantir certa repetitividade e padronização aos processos, facilitando uma abordagem que analise possíveis áreas para simplificação.

Koskela (1992), por fim, lista algumas abordagens práticas para fazer valer este quinto princípio:

- a) Diminuir os fluxos através da consolidação de atividades;
- b) Reduzir o numero de partes dos produtos, via alterações de projeto ou emprego de componentes pré-fabricados;

- c) Padronizar componentes, materiais, e ferramentas;
- d) Eliminar relações de precedência entre as atividades,
- e) Minimizar a necessidade de informações de controle;
- f) Promover a formação de equipes e mão-de-obra polivalente.

2.2.4.6. Aumentar a flexibilidade de saída

Das iniciativas mais fortemente relacionadas com este princípio fazem parte a redução do tamanho dos lotes, o uso de mão-de-obra polivalente, a customização do produto no tempo mais tarde possível, e a utilização de processos construtivos, que permitam a flexibilidade do produto sem grande ônus para a produção, ou seja, a flexibilidade permitida e planejada (ISATTO, 2000).

Embora, à primeira vista, o aumento da flexibilidade possa parecer antagônico ao terceiro princípio “reduzir a variabilidade” com a padronização das atividades e materiais e com o aperfeiçoamento dos processos, é possível o sucesso na aplicação dos dois princípios simultaneamente, e sem que haja ônus para o cliente final em termos de custo.

Koskela (1992) e Bernardes (2001) listam algumas abordagens práticas para fazer valer este sexto princípio:

- a) Minimizar o tamanho dos lotes, aproximando-os ao rímo de sua demanda;
- b) Reduzir os tempos de preparação e troca de ferramentas e equipamentos;
- c) Customizar o produto no tempo mais tarde possível;
- d) Promover a formação de equipes e mão-de-obra polivalente;
- e) Levantar com clareza e objetividade as necessidades dos clientes, para que alterações não ocorram de forma não planejada.

2.2.4.7. Aumentar a transparência do processo

Segundo Koskela (1992), a falta de transparéncia na operação de uma empresa aumenta a ocorrência de erros, diminui a percepção dos mesmos e suprime a motivação necessária para a melhoria contínua.

Bernardes (2001) salienta a importância de se disponibilizar informações de acordo com a necessidade de seus usuários no ambiente produtivo e de envolver a maior parte dos funcionários na discussão do projeto, inclusive expondo diagramas, planos de execução, plantas e até mesmo metas da operação. Esta discussão se torna então um momento para a troca de ideias, e sugestão de possíveis melhorias relacionadas aos processos que estão sendo, ou ainda serão executados.

Koskela (1992) afirma que o objetivo deste princípio é substituir controles subjetivos e “invisíveis” por controles formais, bem explícitos e visuais. O mesmo autor, em seguida, lista abordagens práticas para aumentar a transparéncia do processo de construção civil:

- a) Aplicar programas como o 5S para eliminar a desordem do canteiro de obras;
- b) Tornar o fluxo observável através de layout apropriado e controles visuais;
- c) Tornar atributos até então invisíveis nos processos explícitos, através de medições claras e objetivas;
- d) Utilizar gestão visual que forneça a todos rápida compreensão sobre padrões e desvios;
- e) Reduzir interdependência entre unidades produtivas;
- f) Remover obstáculos visuais, tais como divisórias e tapumes;
- g) Utilizar gestão visual nos processos (quadros, cartazes, sinalizações e demarcação de áreas).

2.2.4.8. Focar o controle global do processo

Para Koskela (1992) existem duas causas para as empresas adotarem um controle segmentado de seus processos: O fluxo não seguir a divisão hierárquica adotada pela empresa ou pode atravessar a fronteira da organização, os dois casos tendem a gerar apenas ótimos locais no fluxo.

A noção de fluxo de valor incorporada ao ambiente da produção da construção civil vem acompanhada de pré-requisitos importantes: devem existir medidas de desempenho associadas a todo o fluxo, e deve ser criada a figura de um *flow manager*, uma autoridade responsável por todo o fluxo de valor e com capacidade de superar as barreiras hierárquicas e funcionais da empresa.

2.2.4.9. Introduzir a melhoria contínua no processo

O esforço para reduzir desperdícios e aumentar o valor do produto deve ser uma atividade incremental iterativo para se sustentável e continua (KOSKELA, 1992).

O trabalho em equipe e a gestão participativa constituem os requisitos essenciais para a introdução deste princípio. (JUNQUEIRA, 2006).

A seguir estão listadas algumas abordagens práticas para promover a melhoria contínua, novamente sugeridas por Koskela (1992):

- a) Medir e monitorar a melhoria;
- b) Traçar metas, como por exemplo, de redução de desperdício ou redução do tempo do lead time, assim os problemas ficam visíveis e é estimulada a criação de soluções;
- c) Compartilhar a responsabilidade de melhorar com todos os funcionários, toda a contribuição deve ser estimulada e recompensada;
- d) Utilizar procedimentos científicos, buscar as melhores práticas de gestão e aplicá-las;
- e) Criar controles para sustentar as melhorias implantadas;
- f) Ter em mente que o objetivo sempre é atacar as raízes dos problemas e não seus efeitos.

2.2.4.10. Manter um equilíbrio entre melhorias nos fluxos e nos processos

Para Koskela (1992) quanto mais complexo for o fluxo de valor de uma empresa, e quanto mais desperdícios ele apresentar, maiores serão os impactos das melhorias deste fluxo. O autor acrescenta que a abordagem tradicional (nos processos) fez com que, na maioria das empresas, exista um potencial de ganhos muito mais inexplorado ligado ao fluxo total de transformação, se comparado às melhorias de processo que ainda podem ser feitas. De qualquer forma melhorias de fluxo, apesar de demandarem menos investimentos no início, acabam demandando maiores esforços de sustentabilidade que melhorias em processos. Por fim o mesmo autor ainda complementa que a questão central é que melhorias no fluxo e na conversão estão intimamente interligadas por três fatores:

- a) Melhorias nos fluxos geram diminuição na necessidade de capacidade de processamento e, portanto, redução nos investimentos em equipamentos;
- b) Fluxos mais controlados facilitam à introdução de novas tecnologias de processamento;
- c) Processos mais atualizados podem acarretar menor variabilidade e, beneficiando o fluxo de valor.

2.2.4.11. Referencias de ponta (Benchmarking)

Benchmarking é um processo de aprendizado, sustentado pela busca de melhores práticas e resultados adotadas por outras empresas, ou até outros setores da mesma empresa seguida pela sua avaliação e adaptação a uma nova realidade.

Koskela (1992) afirma que ao se realizar um benchmarking é necessário:

- a) Conhecer como são os processos da sua empresa;
- b) Identificar boas práticas em outras empresas similares;
- c) Entender os princípios por trás dessas boas práticas;
- d) Adaptar as boas práticas encontradas à realidade de sua empresa.

2.2.5. As Categorias de Desperdícios para a Construção Enxuta e o Last Planner

Analogamente ao que foi sugerido por Ohno, Koskela (2004) classifica as atividades que não agregam valor na construção em categorias de desperdícios, mais especificamente, em oito delas. Além das sete categorias do STP insere uma nova, a qual atribui o nome de *making-do*.

Segundo KOSKELA (2004) *making-do* é um desperdício recorrente na construção civil, e refere-se a uma situação onde uma atividade é iniciada sem que todos os seus *inputs* (materiais, operadores, equipamentos, informação, espaço e finalização de atividades anteriores) estejam completas ou disponíveis.

Conceitualmente, pode-se definir *making-do* como o oposto de estoque, afinal é possível traduzir estoque como materiais esperando para serem processados, já no *making-do*, temos o processo iniciado mesmo com a falta materiais. (KOSKELA, 2004).

Koskela (2004) aponta uma razão estrutural para o surgimento do *making-do*: a síndrome da eficiência, que está relacionada com a tentativa de otimizar cada processo, promovendo ótimos locais, que, por sua vez, comprometem o fluxo de valor da construção.

Isso ocorre devido à fatores comportamentais, à pressão por respostas imediatas, à necessidade de se mostrar trabalho, à crença de que começando uma tarefa cedo, mesmo sem os recursos necessários, ela será completada mais cedo.

Esta nova categoria de desperdícios deu origem a uma corrente de autores que desenvolvem uma metodologia específica para combater o *making-do*. A contribuição mais importante neste cenário remete a Ballard & Howell (1998), neste trabalho eles afirmam que apenas cerca de metade das ordens passadas às equipes de construção são completadas conforme planejado, e atribuem este número ao raciocínio tradicionalmente encontrado na indústria da construção civil, segundo o qual o trabalho a ser realizado por uma equipe deve seguir rigorosamente o cronograma do projeto. Trata-se, portanto, de um sistema “empurrado”, onde, com base nos objetivos e na informação disponível, o planejamento decide o que deve ser feito, e cabe ao responsável pela execução correr atrás dos recursos para

cumprir o solicitado, pressupondo que todos os recursos estarão disponíveis, e que tudo o que estiver planejado será devidamente executado, o que rotineiramente falha (BALLARD, 2000).

Como solução Ballard & Howell (1998) propõem um método de planejamento da produção nos canteiros de obra denominado *Last Planner*, segundo Kempenich (2009), a ideia por trás do *Last Planner* é justamente trazer um sistema puxado para dentro da construção civil.

Segundo Peneirol (2007) o *Last Planner* aborda o planejamento e controle da produção no curto prazo, e tem o objetivo de assegurar, através de diversos procedimentos e ferramentas, que todos os pré-requisitos para uma atividade estejam satisfeitos no momento em que a mesma se inicia de forma a permitir que esta seja executada sem perturbações e completada de acordo com o planejado.

Esta ferramenta propõe a criação de uma medida de desempenho denominada PPC (Percentagem de Planejado Concluído). Ballard (2000) sugere que este indicador deve ser atualizado em um horizonte semanal, no final de cada semana é calculada a percentagem de atividades que estavam planejadas e foram, de fato, concluídas.

O acompanhamento desta medida vem seguido da investigação das causas que levaram a não execução de algumas das atividades planejadas, com base nas quais se efetuam análises a fim de eliminar as causas dos problemas mais impactantes. O PPC funciona então como ponto de partida para a eliminação de desperdícios e para a melhoria continua.

Outro elemento do método *Last Planner* é o planejamento antecipado, denominado por Ballard (2000) de *lookahead*. Segundo Peneirol (2007) o *lookahead* é baseado no plano global do projeto, e propõe a revisão e análise dos pré-requisitos das atividades em um horizonte de 3 a 12 semanas. Seu objetivo é garantir que não existam gargalos para o início das atividades a médio prazo.

Ballard (2000) sugere que paralelo ao *lookahead* pode-se criar uma reserva de tarefas passíveis de serem iniciadas, protegendo a produção de grandes variações, a esse estoque de atividades ele dá o nome de *shielding production*.

Peneirol (2007) afirma que esta ferramenta permite fazer a ponte entre o planejamento global do projeto e os compromissos de curto prazo estabelecidos com as equipes de execução.

3. APLICAÇÃO NO CASO

3.1. INTRODUÇÃO

Sendo este um Trabalho de Conclusão de Curso, o estudo de caso que será abordado possui apenas o objetivo de ilustrar alguns aspectos, dificuldades do projeto de implantação de conceitos e ferramentas da produção enxuta em uma obra de recuperação de uma rodovia.

A aplicação da produção enxuta no ambiente de construção de infraestrutura foi realizada pela equipe da Hominiss Consulting, empresa de consultoria em produção enxuta sediada em São Carlos, SP, em um trabalho em realizado junto a construtora aqui denominada de E1 durante três meses do ano de 2011.

A apresentação de resultados bem estruturados e coesos de um projeto como este é fruto de várias abordagens sobre melhorias na obra, e da iniciativa de introdução de algumas das técnicas e ferramentas descritas anteriormente neste trabalho, as quais se mostraram muito desejáveis tendo em vista a operação atual da construtora.

Uma abordagem como esta demandaria provavelmente duas rodadas do DMAIC, resultando em pelo menos um ano de trabalho. Entretanto, no período no qual foi realizado o projeto, uma crise política de abrangência nacional, paralisou o repasse de verbas à contratos em andamento firmados entre varias construtoras de rodovias e o Governo Federal. Este episódio forçou uma interrupção da obra, e consequente congelamento dos trabalhos, impossibilitando a coleta e compilação de dados sobre os resultados reais das implantações.

Desta forma, os resultados apresentados a seguir, resumem principalmente a análise da situação observada inicialmente na obra, ensaios e simulações executadas em campo e avaliação do uso de algumas ferramentas e técnicas da produção enxuta na construção de infraestrutura rodoviária.

O autor desse trabalho trabalha atualmente na Hominiss Consulting e participou ativamente do projeto.

3.2. CONTEXTUALIZAÇÃO DO MERCADO E DA EMPRESA

3.2.1. O setor de construção de rodovias

Rodovias são o maior meio para transporte de cargas no Brasil, atingindo praticamente todos os pontos do território nacional, e se destinam, principalmente, ao transporte em curtas distâncias de produtos acabados e semiacabados. Isso acontece porque, normalmente, o modal rodoviário apresenta preços de frete mais elevados do que o ferroviário ou o hidroviário, afinal, apesar de seus custos fixos serem baixos (as rodovias no Brasil são estabelecidas e construídas com recursos públicos), seu custo variável (combustível, manutenção, etc.) é mais elevado e sua capacidade de carga é menor.

A opção por este modal para o transporte de cargas e passageiros é um fenômeno que se observou, a nível mundial, a partir da década de 50, tendo como cenário a expansão da indústria automobilística associada aos baixos preços dos combustíveis derivados do petróleo.

No Brasil, o investimento no transporte rodoviário surge na mesma época, e está associado também à implantação da indústria automobilística no país e à mudança da capital nacional para a região Centro-Oeste, marcos acompanhados de um vasto programa de construção de rodovias. Entretanto, Diferentemente do que ocorreu nos países desenvolvidos, aqui, esta ênfase traduziu-se não só na prioridade, mas na quase exclusividade das políticas de transporte voltadas para o modal rodoviário, pelo menos até a década de 70.

Nenhum fenômeno recente teve importância suficiente para alterar este panorama, e a matriz de infraestrutura de transporte no Brasil tornou-se, majoritariamente composta pelo modal rodoviário, que hoje responde por quase 60% de toda a carga transportada no país.

O Gráfico 3 abaixo representa Matriz Modal brasileira em 2006, ou seja o percentual de cargas transportadas nos principais modais da malha de transporte do país:

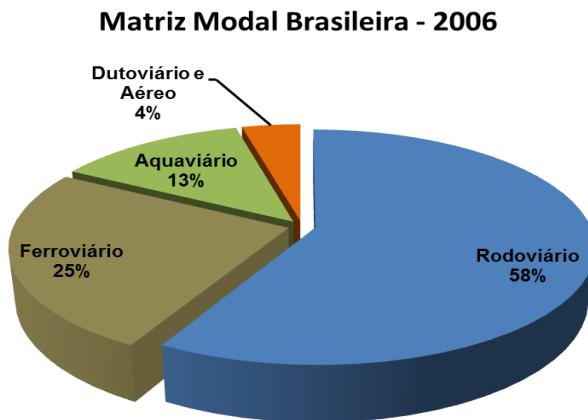


Gráfico 3: Matriz Modal Brasileira – 2006

Fonte: (ANTT Web Site)

Apesar da necessidade de readequação desta matriz, aumentando a participação dos outros modais, as rodovias ainda serão muito representativas. Além disso, algumas particularidades do modal rodoviário, e outros fatores estruturais, indicam que o planejamento do futuro para os transportes não é uma simples substituição de modais.

As indústrias dão preferência pelo transporte rodoviário por este fazer o “door to door”, o que não acontece com os outros modais, a não ser em algumas raras exceções. Além disso, as empresas estão trabalhando cada vez mais com estoques reduzidos, com um giro mais alto nos armazéns, portanto, necessitam de maior agilidade no transporte. Além disso, parte do escoamento da produção agrícola é dependente principalmente deste modal, e não se pode esperar a infraestrutura dos demais se desenvolver primeiro para depois desenvolver as áreas de plantação.

Apesar da combinação destes fatores com a relativa estabilidade da matriz modal brasileira nos últimos anos, e da importância das rodovias neste cenário, “deterioração” é uma palavra recorrente no para definir o estado da malha rodoviária brasileira, resultando em aumento geral de custos e dos níveis de acidentes. A falta da manutenção das rodovias acarreta cerca de 30 a 40% de aumento no custo de operação dos caminhões.

Para a superação dos problemas existentes, chama-se atenção para a necessidade de vultosos investimentos na recuperação, operação e manutenção da malha, como consequência, projeta-se anos de grande demanda por empresas de construção de infraestrutura rodoviária.

Este movimento, entretanto, é conduzido através de dinheiro público, dessa forma, considerações sobre a interferência governamental, o controle dos órgãos reguladores e expectativas por demandas devem ser feitas.

As formas de capitalização e as necessidades do cliente são diferentes neste setor, principalmente se comparados com obras privadas, ou mesmo com a manufatura. Deste modo será interessante definir brevemente os processos de licitações e controles que recaem sobre as obras de rodovias:

No Brasil, toda obra rodoviária, quando não executada diretamente pelo poder público deve ser fruto de licitação. Neste processo é necessário que o órgão competente (que é relacionado com a esfera de poder que executa a obra) apresente um orçamento detalhado, com custos unitários de todos os serviços e materiais que compõe a obra, segundo exigência do Inciso II do artigo 7º da Lei 8.666 de 21 de junho de 1993. Estes orçamentos são calculados pelo setor especializado do órgão público, baseados em um projeto que pode ser elaborado pelo próprio órgão ou também em regime de licitação pública.

As esferas municipal, estadual e federal também realizam licitações para contratar serviços de manutenção, melhorias e até a concessão de rodovias.

Sobre o controle enquanto da execução das obras o poder executivo define que “o controle exercido não será apenas em termos de legalidade, mas também de cumprimento das metas estabelecidas na execução dos programas de governo, bem como avaliará se houve a aplicação e gestão eficiente dos recursos públicos”.

Ou seja, neste tipo de obra os repasses devem sofrer validação mediante aderência às normas jurídicas (controle quanto à legalidade), e também mediante a avaliação técnica criteriosa dos resultados apresentados pela construtora. Na prática vestígios de mau uso dos repasses tendem motivar a instauração de controles mais rigorosos e dificultar o trabalho das construtoras que não vem apresentando bom desempenho.

Este controle interno deve ser realizado pela mesma unidade administrativa que contratou a licitação ou ainda por órgão específico instituído para fins de controle dentro do mesmo Poder (TCE, TCU, CGU, etc.).

A abordagem prática sobre este tipo de controle é que, em uma obra com contrato definido mediante licitação; melhorias na qualidade da construção, na redução do *lead time* da obra, e redução nos desperdícios, representam as melhores formas de se obter vantagens no setor.

3.2.2. Descrição da empresa

O estudo de apresentado neste trabalho é fruto de um projeto realizado no primeiro semestre do ano de 2011 em uma empresa fundada em 1961 e, atualmente, sediada em Cuiabá no estado do Mato Grosso.

Dentre os serviços executados pela empresa estão terraplenagem, pavimentação, construção e restauração de rodovias, reciclagem asfáltica, elaboração de projetos civis, execução de obras industriais, mineração e locação de equipamentos de construção e mineração. A empresa ainda faz parte de um holding de mesmo nome, das quais fazem parte empresas dos setores agrícola e alimentício presentes nos estados do Rio Grande do Sul, Mato Grosso e Santa Catarina.

A E1, no período em que foi realizado o projeto a que este trabalho se refere, contava com aproximadamente 200 funcionários dedicados às atividades de restauro e construção de rodovias, e executava três diferentes obras.

O cenário que forçou a empresa a buscar novas práticas de gestão compreende a insatisfação dos gestores da E1 com os resultados de seus constantes investimentos em maquinário de ponta. A empresa, historicamente, buscou manter em sua frota equipamentos novos e inserir as mais recentes tecnologias a fim de melhorar seu desempenho operacional.

Os resultados, entretanto, não correspondiam às expectativas, e os gestores da E1 passaram a enxergar que o foco da empresa em aprimorar seus processos negligenciava alguns aspectos do fluxo como um todo; a consequência deste cenário, foi a iniciativa de contratar uma consultoria externa especializada na implementação e sustentabilidade de sistemas de produção enxuta.

3.2.3. Descrição da obra observada

A obra na qual se baseia o caso descrito neste trabalho é a recuperação e pavimentação de um trecho da rodovia federal BR-163 no estado do Pará, próximo a sua divisa com o Mato Grosso.

A BR-163, apelidada de rodovia Cuiabá–Santarém foi planejada como um dos projetos do Plano de Integração Nacional e começou a ser aberta em 1973. A principal justificativa para a construção da rodovia era a integração dos projetos de colonização da Transamazônica à região Centro-Oeste.

Apesar de ter o seu traçado concluído no fim da década de 1970, o asfaltamento da BR-163 nunca foi completado. Inicialmente a rodovia contava com 1.756 quilômetros que ligam a cidade de Cuiabá a Santarém no Pará. A rodovia teve a sua manutenção totalmente abandonada na década de 1980, voltando a receber atenção governamental somente na década de 1990.

Anos mais tarde o projeto da rodovia foi ampliado, e a BR-163 se tornou uma ligação longitudinal de todo o Brasil. Atualmente tem 3467 quilômetros de extensão, e integra o Centro Norte do Brasil ao Centro Oeste e Sul, passando pelos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Pará.

Desta forma a rodovia assumiu um importante papel para o escoamento da produção agrícola da região Norte do Brasil. O trajeto atual da rodovia pode ser observado na Figura 11:



Figura 11: Situação da BR-163 em Janeiro/2011

Fonte: (Ministério dos Transportes Web Site)

Na região em que é realizada a obra observada, a rodovia atravessa uma região muito rica em recursos naturais e ao mesmo tempo repleta de fazendas cuja principal atividade é a pecuária de bovinos corte.

Em seu trajeto original a rodovia cruza uma vasta região marcada pela presença de importantes biomas brasileiros, como a floresta amazônica e o cerrado, além de áreas de transição entre ambos; e também por algumas bacias hidrográficas importantes, como a do Amazonas, do Xingu e Teles Pires-Tapajós.

Em 2009 foi iniciado um projeto de recuperação e pavimentação do trecho da BR-163 entre os estados do Pará e do Mato Grosso do Sul, para esta iniciativa a parte mais degradada da rodovia foi dividida em dois lotes:

- a) lote 1, que compreende o segmento que vai da divisa do Mato Grosso com o Pará até o município paraense de Novo Progresso. São 318 quilômetros de extensão, e um investimento previsto de R\$ 20,6 milhões, é neste lote em que se localiza a obra apresentada neste trabalho;
- b) lote 2 que vai de Novo Progresso até o início do trecho já pavimentado próximo ao município de Santarém. Este trecho é um pouco maior, com 344 quilômetros e um investimento previsto pelo governo federal de R\$ 22,7 milhões.

Dentro de cada lote foram abertas algumas frentes de serviço, e para cada uma delas, quando aplicável, foi realizada uma licitação para definir as empresas responsáveis pela obra de restauração e pavimentação.

Neste contexto a E1 é responsável por executar os serviços em um trecho de 102,3 quilômetros da rodovia, com um tempo de execução estipulado em contrato de 30 meses, que expira ao final do ano de 2012.

Uma particularidade do contrato da empresa com o Governo Federal é que este é feito em regime de consórcio, ou seja, a E1 executa as obras juntamente com outras duas construtoras, e cada uma é responsável por pequenas divisões (lotes) da rodovia, definidas de acordo com o valor pago por sua execução. Uma especificidade decorrente deste regime observada na obra é que alguns dos processos executados na rodovia eram realizados pelo consórcio, e nestes casos, o projeto de implantação da produção enxuta não pôde interferir.

Por não tratar-se de um produto comum em estudos sobre produção enxuta, o autor deste trabalho entendeu que seria útil a descrição do mesmo, portanto, para um melhor entendimento dos processos empregados na construção de uma rodovia faz-se válido o detalhamento a seguir:

Segundo Isfrán (2001), os principais processos, que normalmente estão presentes em todas as obras de rodovias são: a construção de obras de arte, a limpeza da faixa de domínio, o movimento de solo ou terraplenagem, a execução da sub-base e da base, e o revestimento. Dentre estas, Isfrán (2001) destaca a atividade de terraplenagem, segundo o autor, na maioria dos casos, é esta que dita o ritmo da obra, pelo fato de movimentar grandes volumes de solo, e especialmente, por sofrer mais a influência dos fatores climáticos.

Na prática, estas atividades, vão sendo executadas em várias camadas, de baixo para cima, correspondendo ao maior avanço na execução (INSFRÁN, 2001). O perfil de uma rodovia, apresentando cada uma destas camadas, e o avanço tradicional de uma obra, esta ilustrado na figura XX a seguir:

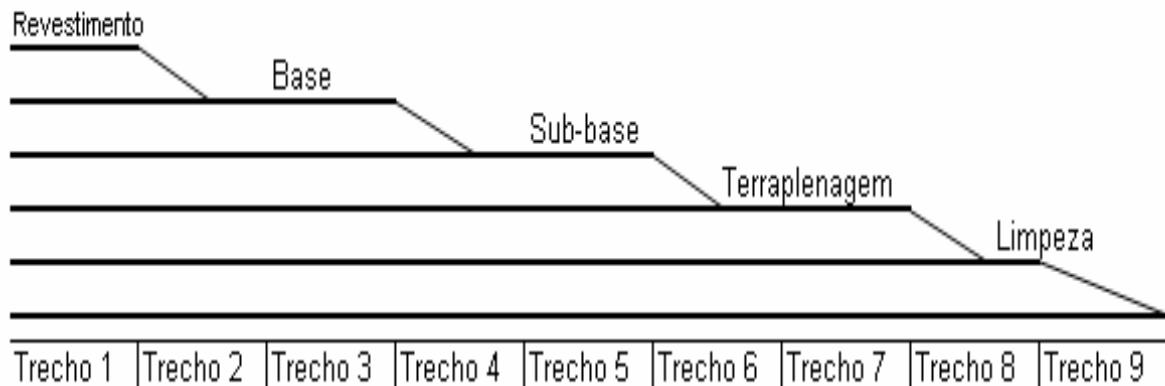


Figura 12: Perfil longitudinal demonstrando os patamares de execução

Fonte: (ISFRÁN, 2001).

Isfrán (2001) define que as camadas que compõem a execução das obras de rodovias são executadas por frentes de serviço ou patrulhas, e a extensão em que está sendo processada é denominada cancha, e a extensão de cada cancha geralmente é função do número e tipo de equipamentos que compõem cada equipe, e da distância considerada ideal para trabalho das mesmas.

Em função de sua natureza linear, as rodovias em geral são construídas iniciando-se em uma extremidade da obra e avançando em direção à outra, com frentes de serviço executando diferentes camadas, e distribuídas por segmentos da obra.

A região onde a obra da BR-163 está sendo realizada impõe um complicador em sua execução; às margens da rodovia está uma reserva ambiental que comprehende parte da floresta amazônica.

É impossível interditar o tráfego normal da rodovia para executar sua recuperação. Em obras sem esta peculiaridade são feitos desvios para o tráfego nos trechos em que há máquinas e equipamentos trabalhando, enquanto os mesmos operam. Entretanto essa prática é impossível na BR-163, afinal não se pode desmatar a floresta para criar desvios. A solução implantada na obra é executar

cada camada apenas em meia pista, desviando o tráfego para a outra metade enquanto se opera.

3.2.4. Método

A metodologia para aplicação de técnicas e ferramentas da produção enxuta aqui descrita se baseia fundamentalmente no que sugerem Rother & Shook (1999), sobre como identificar desperdícios presentes em um sistema produtivo e as recomendações sobre como construir fluxo de valor enxuto, presentes na seção 2.1.6 deste trabalho.

Rother & Shook (1999) também sugerem uma forma simples de separar os produtos de uma empresa em famílias, e um padrão para elaboração de mapas de fluxo de valor que serão adotados neste estudo de caso.

Outro importante papel na condução do processo de mudança é a adaptação do DMAIC, descrita na seção 2.1.4 para gerir as fases, implantações, resultados e sistemas de controle aplicados na empresa E1.

Segundo a metodologia apresentada, a fase de implantações (o “I” do DMAIC), será realizada através de Eventos Kaizen, conforme descrito também na seção 2.1.6 deste trabalho. Esta opção é motivada pela eficácia do método em implantar ferramentas e padrões de trabalho e por sua eficiência em envolver pessoas e promover a aprendizagem.

Esta associação de conceitos e métodos destaca-se por ter alcançado excelentes resultados práticos, tanto como descrito na literatura, quanto em projetos anteriores realizados pela Hominiss. Outro fator importante da aplicação da metodologia descrita é sua flexibilidade, obtendo êxito em adaptações a empresas de diversos setores.

Dos objetivos da metodologia também fazem parte a capacitação e preparação de pessoas que têm uma relação direta com a construção da rodovia, abrangendo os conhecimentos gerais da produção enxuta, o diagnóstico de desperdícios, e treinamentos específicos sobre ferramentas da produção enxuta com maiores possibilidades de ganhos se aplicadas na obra.

Para organizar e criar uma lógica de alocação de atividades em cada fase do DMAIC e definir os *inputs* e *outputs* das mesmas, a metodologia selecionada teve de ser estruturada formalmente. As etapas devem seguir uma ordem lógica para motivar as equipes de implantação e facilitar seu aprendizado.

Cada fase do projeto contempla tarefas associadas a documentos de acordo com a metodologia aplicada, permitindo uma lógica de fácil entendimento, conforme representado na Tabela 4:

Tabela 4: Estrutura do Método de Aplicação Proposto

Fases do DMAIC	Atividades Relacionadas
Definir	<ul style="list-style-type: none"> • Definir Objetivos globais do projeto • Definir indicadores de resultado do projeto • Definir equipe de projeto (Patrocinador, Líderes e demais membros) • Realizar treinamento inicial da equipe do projeto • Classificar os produtos em famílias
Medir	<ul style="list-style-type: none"> • Definir e detalhar medidas de desempenho para produção • Levantar dados para cada família de produtos • Registrar o estado atual da empresa • Mapear fluxo de informações (planejamento e controle da obra)
Analisar	<ul style="list-style-type: none"> • Analisar a situação atual e identificar desperdícios • Elaborar o estado futuro (o qual se deseja atingir com o projeto) • Selecionar ferramentas que devam ser empregadas e planejar sua implantação • Avaliar fluxo de informações e propor melhorias • Desenvolver estrutura organizacional para melhorias (desenvolvimento e sustentabilidade)
Implantar/ Melhorar	<ul style="list-style-type: none"> • Atividades realizadas antes dos Eventos Kaizen <ul style="list-style-type: none"> • Definição do escopo do Evento Kaizen • Solicitar compra de materiais e insumos e confeccionar estrutura utilizada no EK • Atividades realizadas nos Eventos Kaizen <ul style="list-style-type: none"> • Implantar novos padrões de trabalho e treinar equipe • Documentar melhorias
Controlar	<ul style="list-style-type: none"> • Implantar novos controles e rotinas de avaliação • Avaliar sucesso das melhorias e propor alterações • Estabelecer sistema de recompensa (PLR, premiação) • Definir responsáveis por fluxos

3.2.5. Adaptações do método à situação da obra

A seguir serão listadas todas as atividades do método proposto, seguidas de uma breve explanação, e das considerações sobre sua aplicação no estudo de caso presente neste trabalho. Vale ressaltar que, como descrito anteriormente, o projeto foi interrompido às vésperas do primeiro Evento Kaizen, sendo assim, o detalhamento da aplicação no caso vais até a fase de "Definição do escopo do Evento Kaizen":

Definir Objetivos globais do projeto

Esta atividade tem relação com o primeiro princípio do pensamento enxuto, definidos por Womack & Jones (1996) e já descritos no início deste trabalho, aqui se deve entender e formalizar o que é valor para o cliente, e utilizar estas definições como bases de tomada de decisão ao se projetar qualquer melhoria.

Esta definição é qualitativa, e parte de reuniões semiestruturadas com os gestores da empresa. Nesta fase também é definido o escopo do projeto, ou seja, qual a penetração das melhorias implantadas ao final da primeira rodada do DMAIC.

Especificamente no projeto realizado na empresa E1 os objetivos incialmente definidos foram:

- a) Reduzir o Lead Time de construção de uma rodovia, utilizando-se de forma otimizada máquinas e pessoas;
- b) Desenvolver estrutura organizacional para melhorias.

O primeiro objetivo está ligado ao fato de que não há um *takt time* tal como descrito nesta obra de infraestrutura, existe um prazo máximo de entrega, entretanto a capacidade da empresa em concluir a construção na data mais cedo com determinada quantidade de recursos esta ligada a um melhor resultado financeiro para a E1.

O segundo objetivo, mais abrangente compreende o fato de que, para promover a melhoria continua e sustentável em suas operações, uma empresa não pode depender simplesmente da atuação de uma consultoria, mas sim buscar desenvolver-se de forma a atingir patamares mais evoluídos da pirâmide de princípios apresentada por Liker (2004) neste trabalho.

Definir indicadores de resultado do projeto

Na E1, os resultados do projeto estão principalmente ligados ao primeiro objetivo do projeto, de reduzir o *Lead Time* de execução da obra. Um fator que motiva ainda mais a busca por esta diminuição é que a construção deve parar nos meses de outubro a fevereiro, afinal chove muito na região e a evolução da obra fica comprometida. Sendo assim foram definidos como indicadores de resultados globais dois *Lead Times*:

- a) Lead Time de execução da Obra;
- b) Lead Time de execução do Lote.

Definir equipe de projeto (Patrocinador, Líderes e demais membros)

A equipe de projeto é muito importante para o sucesso das soluções implantadas na obra, a correta definição dos membros torna-se, portanto, peça chave nesta fase.

A Hominiss Consulting orienta normalmente a nomeação de um patrocinador de projeto, que deve ter real poder de decisão dentro da empresa, e normalmente é quem busca a contratação do serviço de consultoria para realizar o projeto de produção enxuta.

Posteriormente é definido um líder de projeto, que deve ser uma pessoa com capacidade de entender a operação da obra como um todo, e que tenha disponibilidade de se dedicar majoritariamente ao projeto nos dias em que este estiver sendo realizado.

São definidos, por fim, membros para a equipe multifuncional, é importante que vários pontos de vista sejam considerados na elaboração de um cenário futuro ideal, sendo assim a nomeação de um time composto por pessoas que atuam em áreas de produção, PCP, administrativa, financeira é fator muito importante.

Especificamente no projeto da empresa E1, foi encontrada uma peculiaridade que alterou ligeiramente a estrutura da equipe de projeto; a obra acontece no sul do estado do Pará, e a empresa é sediada em Cuiabá, sendo assim, esta equipe

especificamente foi constituída por dois líderes de projeto; um o engenheiro residente na obra e outro o responsável por todas as obras da E1.

Dentre os demais membros estavam também pessoas que trabalhavam na sede da empresa e outros que desempenhavam suas funções no canteiro de obras.

Realizar treinamento inicial da equipe do projeto

Uma preocupação da Hominiss é qualificar as equipes de projeto e implantação. É importante que os conceitos que formam a base do método sejam bem explicados e alinhados com a equipe para que os integrantes adquiram o conhecimento necessário para possibilitar senso crítico e incentivar ideias inovadoras essenciais para o sucesso da situação projetada.

O primeiro treinamento aplicado na empresa E1 foi direcionado para todas as lideranças da empresa (tanto as presentes na obra em que o projeto foi realizado quanto representantes das demais obras), além da equipe de projeto diretamente envolvida. Por tratar-se de uma qualificação inicial, os principais conceitos da produção enxuta, junto com a apresentação das ferramentas e metodologias de aplicação formaram o tema deste treinamento.

Classificar os produtos em famílias

A abordagem tradicional, sobre como realizar a definição de famílias de produto sugerida por Rother & Shook (1999) teve que ser ligeiramente adaptada no momento de se avaliar o que é produto em uma rodovia.

O que se observou foi um cenário no qual existiam vários equipamentos responsáveis pela execução de processos em todas as camadas conforme listados a seguir na Tabela 5:

Tabela 5: Frota de Equipamentos da empresa E1 na obra de restauração da BR-163

Equipamentos:
1 Estabilizadora de Solos
3 Motoniveladoras
4 Rolos Compactadores "pé de carneiro"
1 Rolo Compactador "Hyster"
2 Tratores com Grade
3 Escavadeiras hidráulicas
1 Trator de Esteiras
3 Caminhões Pipa
20 Caminhões Caçamba

Na prática não havia nenhuma definição sobre a dedicação destes equipamentos a determinada camada da rodovia, entretanto era visível a formação de frentes de trabalho que demandavam determinados equipamentos.

O que foi sugerido é que criasse a separação das operações seguindo o conceito de tecnologia de grupos, simplesmente baseando-se em quais processos estão associados a cada camada, como sugere a Tabela 6:

Tabela 6: Formação das Famílias de produtos da E1

Processo:	Equip.:	Fase de construção da rodovia:						
		Obras de Arte Corrente	Controle de Erosões e Limpeza	Camadas de Aterro	Regularização	Sub Base	Base	Pavimentação
Carregar Material	Caminhão caçamba + escavadeira	X	X	X	X	X	X	
Transportar/ Lançar Material	Caminhão caçamba	X	X	X	X	X	X	
Espalhar Material	Moto niveladora			X	X	X	X	
Escarificar	Motoniveladora			X	X	X	X	
Estabilizar Solo	Estabilizadora de Solos			X	X	X	X	
Nivelar	Motoniveladora			X	X	X	X	

Pré Compactar	Rolo Hyster		X	X	X
Nivelar com gradistas	Motoniveladora		X	X	X
Compactar Hyster	Rolo Hyster		X	X	X
Compactar	Rolo pé de carneiro	X	X	X	X
Realizar Acabamento	Motoniveladora		X	X	X

Logo no inicio das definições já pôde ser observado que havia uma significativa repetitividade de processos entre as camadas de aterro a regularização a sub-base e a base, estas fases da construção também acontecem em todo o comprimento da rodovia.

Obras de arte corrente são bueiros e galerias pontuais no trajeto. Controle de erosões e limpeza também se a uma transformação de trechos específicos da obra que estão mais degradados, a fim de conferir-lhes dimensões corretas para começar a receber as camadas de aterro.

A camada de base e a pavimentação seriam executadas em um momento posterior, sob responsabilidade do consórcio do qual participava a E1, desta forma estes dois produtos tiveram que ser excluídos do escopo do projeto.

Em um momento posterior se definiu que as primeiras melhorias teriam interferência na execução das camadas de aterro, regularização e sub-base, desta forma, as mesmas foram separadas em subfamílias, que passaram a considerar pequenas diferenças de processamento entre cada camada.

Definir e detalhar medidas de desempenho para produção

É importante definir medidas de desempenho operacional que auxiliem na avaliação do sucesso de cada melhoria implantada.

A definição de quais índices se deve medir, obviamente acontece em paralelo com toda a fase de registro do estado atual da empresa, portanto é importante que se amarre cada definição com medidas de desempenho.

Na empresa E1 dentre estes índices estavam um que objetivava medir o desempenho operacional de cada equipamento (foi aplicado o índice de eficácia global, que representa um indicador que expressa o percentual de utilização do equipamento, considerando a situação ideal de velocidade máxima, sem paradas, sem desvios ou retrabalhos com qualidade total).

Havia ainda um índice que visava medir um problema grave identificado na empresa que era a constante quebra de equipamentos, a forma de fazê-lo foi acompanhar o percentual de tempo parado devido a quebras de cada equipamento dividido pelas horas pagas pelo equipamento.

Levantar dados para cada família de produtos

Nesta fase são medidos todos os tempos (lead time, tempo de ciclo, tempo de trocas) que compõe o processo de transformação da empresa. São levantados os inventários da empresa, as disponibilidades dos equipamentos á cada família de produtos, e todos os demais dados que representam a situação atual da empresa.

Baseados na definição do escopo do projeto e da formação de famílias, na empresa E1 foram levantados dados de processos pertencentes às camadas de aterro, regularização e sub-base, obviamente estes dados referem-se principalmente a tempos de processo e padrões atuais de trabalho.

Registrar o estado atual da empresa

Depois de completada esta atividade, está formalizada uma fotografia do que acontece atualmente na empresa. A ferramenta do Mapa de Fluxo de Valor como descrita na seção 2.1.6 foi considerada satisfatória para esta representação.

Foram confeccionados mapas de fluxo de valor que abrangem vários níveis de detalhamento da obra de rodovia:

- a) Mapa de fluxo de valor Macro: refere-se ao fluxo como um todo e trata cada fase da obra (cada camada) como um processo;
- b) Mapa de fluxo de valor Micro: refere-se ao fluxo da execução de cada camada contemplada no escopo do projeto;
- c) Mapa de fluxo de valor Sub-Micro: Detalha alguns processos do mapa micro, mais complexos, e que merecem atenção especial.

O Mapa de fluxo de valor Macro da figura 13 mostra a definição das famílias, tal como sugerida neste trabalho.

O escopo do primeiro Evento Kaizen, como será descrito posteriormente, refere-se à racionalização e padronização da execução das camadas de aterro, regularização e sub-base, assim sendo foram elaborados os MFV atual e futuro de cada uma destas atividades, a Figura 14 mostra, para a execução da sub-base a situação atual de operação da empresa E1.

Mapa de Fluxo de valor – Macro (trecho)

80

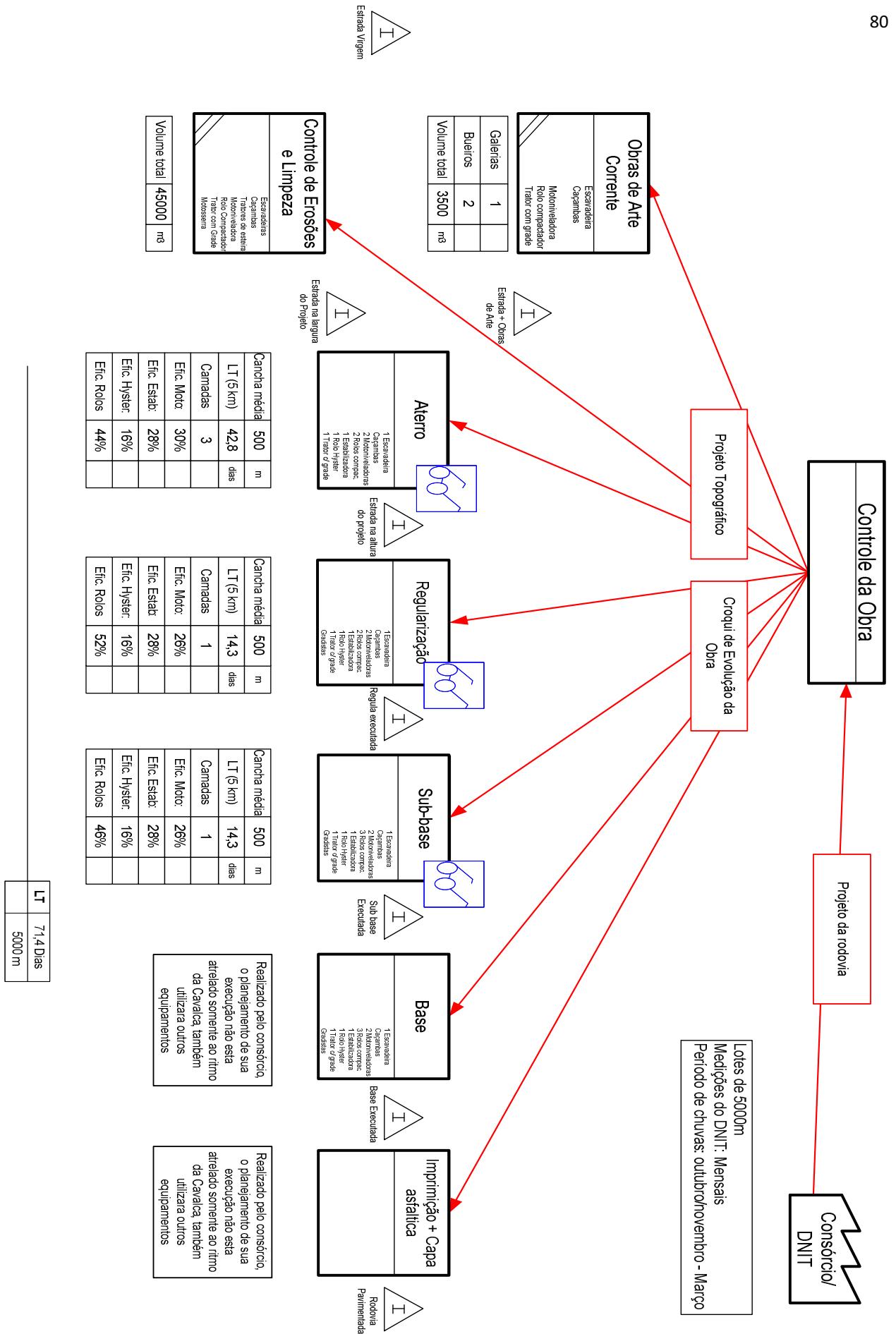


Figura 13: Mapa de fluxo de valor Macro da E1

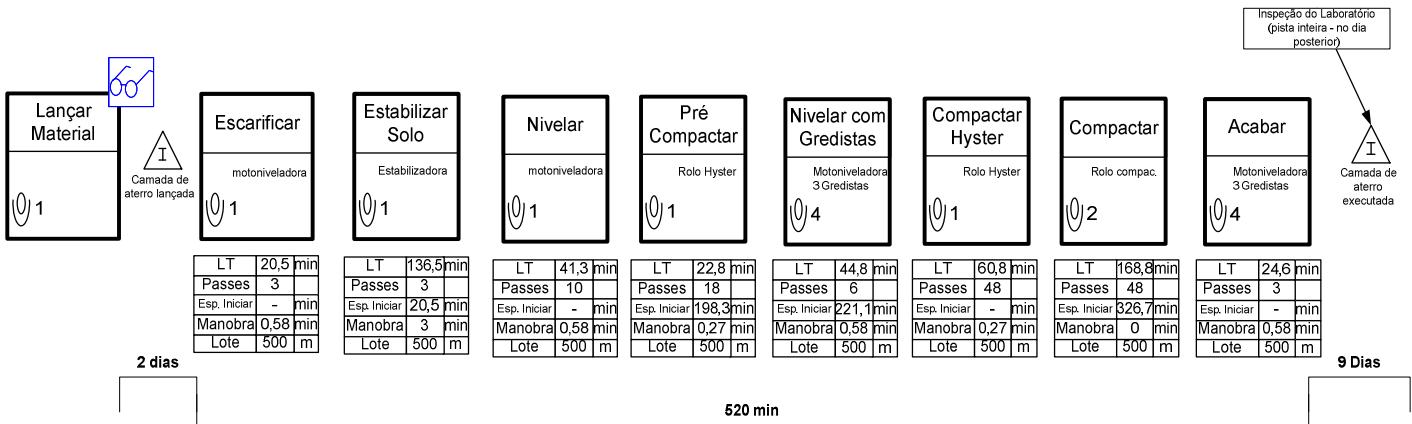


Figura 14: Mapa de fluxo de valor Atual da Sub-Base

Mapear fluxo de informações (planejamento e controle da obra)

O objetivo desta parte do mapeamento é identificar como cada processo recebe a informação do que fazer, e como o controle da obra recebe a confirmação do que foi feito, e atualiza seu planejamento e os índices de desempenho.

O que foi observado na prática é a falta padrão de informações, a autonomia dos operadores em decidir o que fazer e a ausência do desdobramento do planejamento em horizontes de programação da obra.

Parte do resultado do projeto passou a ser definir formas de gestão e controle que possibilitessem uma visão holística sobre a evolução da obra.

Analizar a situação atual e identificar desperdícios

Após o mapeamento da situação atual são levantados os desperdícios no fluxo de valor. Inicialmente é feito um levantamento preliminar, com registros fotográficos dos desperdícios mais aparentes. É feita uma classificação destes desperdícios em categorias, como apresentado no início deste trabalho.

Posteriormente são levantados dentre as atividades que não agregam valor, as que têm maior impacto no fluxo, as principais recebem um destaque no próprio MFV e fomentam sua eliminação na criação de um estado futuro.

Elaborar o estado futuro

Cada mapa de fluxo de valor do estado atual tem um correspondente considerado ideal que deve servir como planta para o estado futuro. Nem sempre é possível se atingir este estado ideal em uma só tacada; desta forma situações intermediárias também são detalhadas.

Ao projetar-se um MFV futuro deve-se ter o cuidado de impedir que questões do fluxo atual como sistemas de controle e aspectos comportamentais, tornem o fluxo futuro menos eficiente. Portanto, nesta fase é importante investigar profundamente aspectos de causa e consequência dos desperdícios, estar atento a restrições reais, envolvendo pessoas de diversas áreas para elaborar o estado futuro.

Devido às peculiaridades do projeto, na empresa E1 o MFV futuro e atual podem parecer bastante semelhantes, porém deve-se atentar as diferenças no tamanho do lote de produção, ou seja, no tamanho de cancha padrão executada, o que resultará em uma redução substancial na espera dos equipamentos, neste cenário também fez-se útil a utilização de outras ferramentas para representar esta mudança, como gráficos de *Gantt*, por exemplo.

Selecionar ferramentas que devam ser empregadas e planejar sua implantação

Nem todas as ferramentas da produção enxuta serão implantadas em todos os projetos, cada empresa apresenta uma operação diferente, que pode não considerar a aplicação de algumas soluções. Tampouco todas as ferramentas das quais a empresa pode usufruir serão implantadas ao mesmo tempo, elas podem estar contempladas em diferentes Eventos Kaizen ou até em diferentes rodadas de projeto.

Desta forma faz-se necessário desenvolver um plano de implantação de melhorias, e vincular a cada etapa o treinamento, projeto e implantação de ferramentas específicas.

A E1 apresentava justificativas claras para a implantação de pelo menos três ferramentas; a criação de fluxo contínuo teria grande impacto na produção em lotes

grandes a que a construtora estava acostumada. O trabalho na E1 não segue padrões claros e bem definidos, é ate difícil de acompanhar o processamento porque não foi estabelecida uma forma correta e única de trabalhar, neste cenário a padronização de trabalho também terá grande impacto. Uma terceira ferramenta extremamente útil à E1 é o método TPM, uma vez que algumas máquinas passavam até 30% do tempo disponível para trabalho e manutenção.

Para cada Evento Kaizen estão associadas a implantação de algumas destas ferramentas, uma vez que não é pratico abordar todos os desperdícios de uma só vez.

Avaliar fluxo de informações e propor melhorias

Esta etapa faz parte da atividade de Elaborar uma situação futura para cada família, anteriormente definida, a diferença, entretanto é que no projeto da construtora E1 foram definidos horizontes de planejamento, e associados a cada um deles controles e índices de desempenho, como descrito, a cada um deles estão vinculadas as melhorias implantadas.

Estes três níveis de planejamento definidos compreendem:

- a) Planejamento Diário: se refere ao acompanhamento hora a hora do realizado versus planejado, o produto deste planejamento é cada cancha, os padrões com que estas devem ser executadas;
- b) Planejamento Mensal: como colocado anteriormente, devido à organização em consórcio a empresa E1 é responsável pela execução de lotes ou trechos da obra que variam de 5 a 10 quilômetros. Desta forma o lote é um elemento importante de planejamento, devido à variação entre a demanda por família inerente a cada (cada um deles se apresenta em diferentes estados de conservação);
- c) Planejamento da obra: o horizonte máximo de execução da obra é de 30 meses e esta, como um todo, deve ser acompanhada. É necessário se estabelecer formas de planejamento e controle global e também neste nível devem ser definidas a capacidade e infraestrutura produtivas da obra.

Desenvolver estrutura organizacional para melhorias (desenvolvimento e sustentabilidade)

Neste ponto se inicia uma entrega muito importante em um processo de realização de um projeto de produção enxuta e melhoria continua.

É aqui que os membros da empresa E1 começam a ter contato com as soluções e os princípios da filosofia enxuta, e são estas pessoas que devem ser capacitadas para disseminar e multiplicar os esforços de melhoria em toda a empresa. Elas podem se tornar especialistas nas ferramentas implantadas, podem ser gestores de fluxo ou até mesmo catalizadores de mudança, A forma de criar uma equipe de melhoria dentro da empresa se dá através do treinamento dos membros e assuntos pertinentes e principalmente em inseri-los nas decisões implantadas durante o período de consultoria.

Na E1 algumas decisões sobre componentes desta estrutura já haviam sido definidos, porém seu treinamento foi interrompido.

Definição do escopo do Evento Kaizen

Aqui, como citado em atividades anteriores, são definidas quais melhorias serão contempladas por cada Evento Kaizen.

Esta definição se dá baseada em quais melhorias podem trazer maiores retornos para a empresa, na duração do Evento Kaizen, na necessidade de infraestrutura para implantar a solução (melhorias que dependem da alteração de sistemas ou de dispositivos mais complexos podem ser adiadas para não comprometer a implantação de outras mais simples) e em outros fatores relacionados ao projeto.

No caso a que se refere este trabalho, cada Evento Kaizen está relacionado a abrangência do mesmo nos níveis de planejamento já citados. Desta forma foram definidos 4 eventos como o representado na Figura 15:

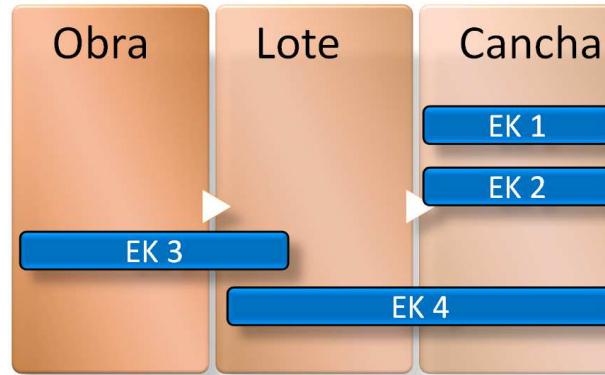


Figura 15: Abrangência dos Eventos Kaizen planejados para o projeto na E1.

O escopo de cada Evento Kaizen compreende:

a) EK1:

- Estabelecer padrões de execução para camadas de aterro, regularização e sub-base nas canchas;
- Diminuir e padronizar o tamanho das canchas;
- Inserir medidas de desempenho do planejamento diário e mensal;
- Inserir acompanhamento hora a hora da obra (real versus planejado)

b) EK2:

- Aplicação da ferramenta TPM nas máquinas que realizam as camadas de aterro, regularização e sub-base nas canchas;

c) EK3:

- Definir controles e planejamento da obra no nível global;
- Implementar infraestrutura itinerária para controle em tempo real da obra (trailer, laboratório, refeitório);
- Definir padrões de execução que permitam estimar a capacidade real de produção na obra;

d) EK4:

- Inserir conceito de fluxo contínuo na execução das canchas;

Solicitar compra de materiais e insumos e confeccionar estrutura utilizada no EK

Obviamente a compra de quadros, cartões, equipamentos, tinta, material de limpeza, uniformes a confecção de dispositivos, contendores, carrinhos não pode ser feita na semana do Evento Kaizen. Desta forma é importante que estas atividades sejam completadas nos dias que antecedem o evento.

No Evento Kaizen devem ser testados novos padrões, realizados treinamentos, implantados novos controles, portanto toda a infraestrutura física e de sistemas para que isto se materialize devem estar à mão.

Implantar novos padrões de trabalho e treinar equipe

O Evento Kaizen serve como um marco para a alteração na forma como as pessoas trabalham, a mudança, normalmente, ocorre toda dentro da semana, sendo assim é essencial que os mais afetados participem do treinamento inicial, geralmente realizado na segunda-feira do evento, e participem do ajuste fino dos novos padrões.

Documentar melhorias

A nova forma de se produzir deve ser constantemente ajustada, desta forma todas as alterações propostas devem ser documentadas a fim de se manter um padrão, ou uma melhor forma de produzir. No Evento Kaizen muitas alterações são implantadas, e muitos ajustes são feitos, portanto tudo deve ser formalizado para oferecer posterior controle.

Implantar novos controles e rotinas de avaliação

A aderência às novas maneiras de se trabalhar pode não ser imediata, há uma tendência humana de se voltar a situações de conforto, portanto deve-se, antes mesmo de realizar a implantação, elaborar sistemas que meçam desvios dos novos padrões.

Na empresa E1, para o 1º Evento Kaizen, foram confeccionados *checklists* de sustentabilidade diárias e rotinas de apontamento para garantir que a execução seguisse o novo padrão.

Avaliar sucesso das melhorias e propor alterações

Nem todos os detalhes dos padrões estabelecidos no projeto da situação futura são completamente eficazes ou eficientes, o momento ideal de alterá-los, a fim de estabelecer práticas melhores ou mais sustentáveis, é justamente o Evento Kaizen.

Estabelecer sistema de recompensa (PLR, premiação)

Muitas vezes é necessário lançar-se mão de um programa de premiação vinculado a alterações advindas das propostas no projeto de melhoria.

Especificamente na E1, os novos padrões de execução de cancha projetavam reduzir o total de horas-extra pagas, sendo assim uma recompensa financeira à adesão de novos padrões é imprescindível para a sustentabilidade das mudanças.

Definir responsáveis por fluxos

Esta atividade marca a criação de uma nova figura na empresa, os líderes de fluxo, que não são responsáveis por processos, mas pelo fluxo como um todo.

3.2.6. Desenvolvimento da proposta e resultados

Nesta parte do trabalho será detalhado o escopo do primeiro Evento Kaizen da E1, serão detalhados os problemas encontrados e as soluções propostas. Por fim serão apresentadas algumas das soluções propostas para a sequencia do projeto.

3.2.6.1. Cronograma

O principal controle do projeto foi o cronograma detalhado, elaborado para estabelecer prazos factíveis em relação aos objetivos descritos, de acordo com a Tabela 16:

Geral	Status	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro
Definir Escopo e Capacitação							
Definir equipe do projeto	😊	X					
Treinamento inicial da equipe do projeto	😊		X				
Definir escopo/objetivos do projeto	😊	X					
Definir famílias de cancha	😊		X				
Definir indicadores de resultados do projeto	😊		X				
Medir e Mapear a Situação Atual							
Definir e detalhar medidas de desempenho para produção	😊				X		
Levantar dados para cada sub-família (camadas)	😊				X		
Elaborar MFV atual para as sub-famílias	😊				X		
Elaborar MFV macro com dados consolidados	😊				X		
Mapear Processo de desdobramento do planejamento da obra.	😊				X		
Analizar Situação Atual e Desenvolver Situação Futura							
Analizar o MFV atual e propor melhorias	😊				X		
Elaborar novo padrão de execução para cada sub-família	😊				X		
Desenvolver estrutura organizacional para melhorias	😊					X	
Implementar a Situação Futura							
Padronização das atividades - regularização, sub-base e lançamento de base	✅			X			
TPM Rolos	✅					X	
Planejamento da Obra	✅						X
TPM outros equipamentos							
Padronização para execução de camadas "sequenciais"							
Controlar a Situação Implementada							
Criar gestão da sustentabilidade das melhorias implementadas	✅						
Medidas de Resultado	✅						
Estrutura organizacional para o Lean	✅						
Rotina de Treinamento	✅						

Figura 16: Parte do cronograma das implantações

3.2.6.2. Melhorias propostas:

A Figura 17 representa a visão esquemática dos objetivos principais do projeto com os principais eventos de entrega:

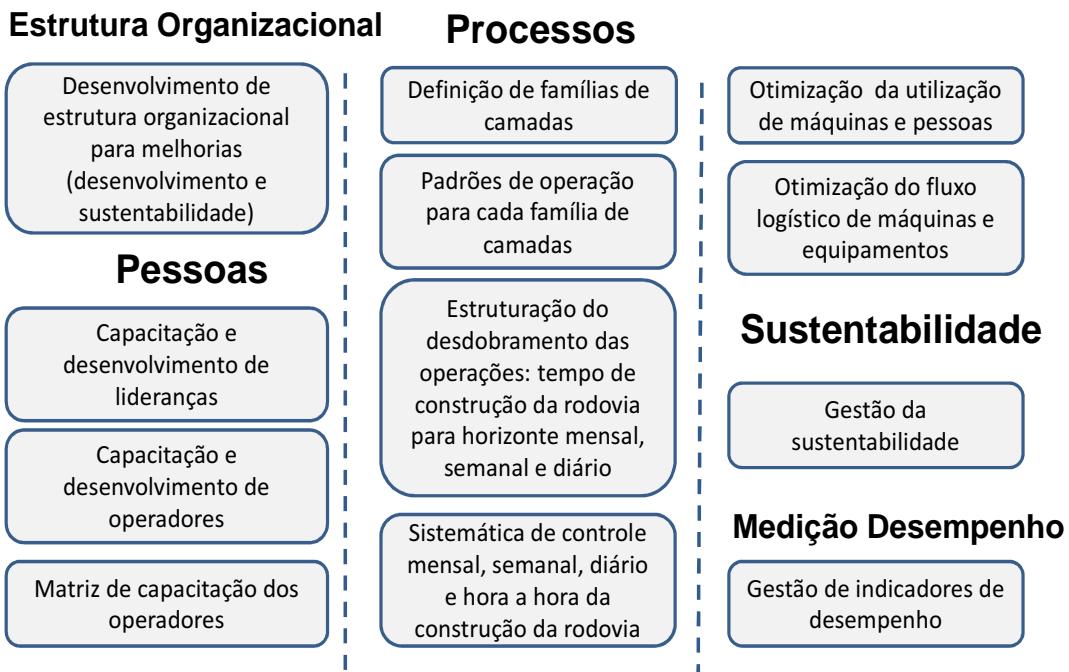


Figura 17: Objetivos gerais do Projeto

Esses objetivos são resultados do desdobramento da visão de uma “máquina de construir rodovias”, ou seja, a situação ideal deste projeto é um conjunto de equipamentos, infraestrutura de operação, homens, sistemas de controle e padrões de trabalho, que transformasse a estrada virgem e degradada em uma rodovia pavimentada através de um fluxo praticamente contínuo de acordo com a Figura 18:

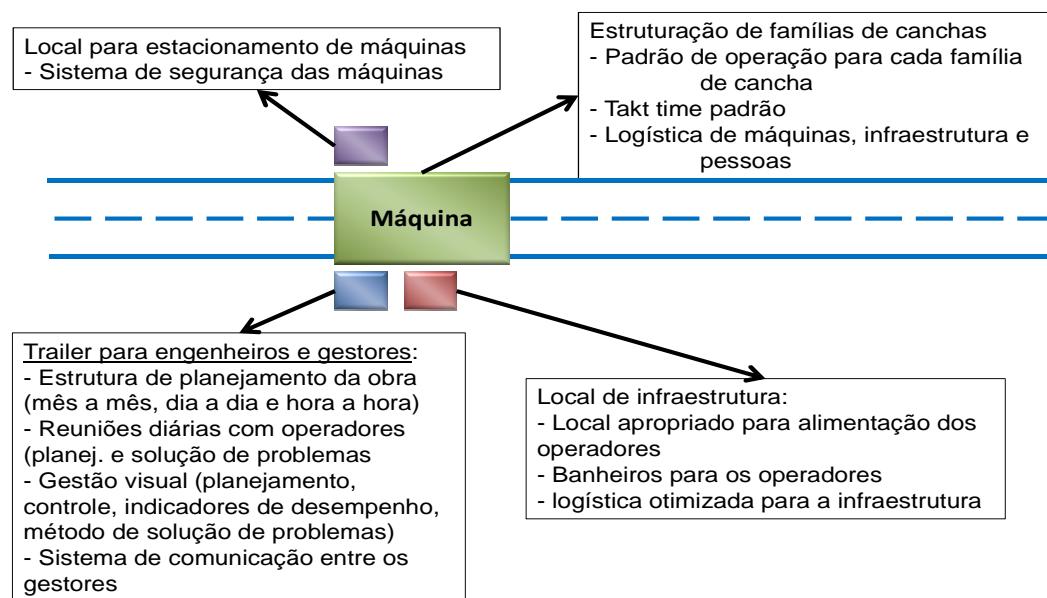


Figura 18: Visão esquemática do estado futuro da E1

Como citado a pouco, esta visão deve ser construída em rodadas de implantação de melhorias, alocadas dentro de Eventos Kaizen.

Novamente, este estudo de caso abrange principalmente as melhorias projetadas para o primeiro destes Eventos, cujos principais objetivos são o estabelecimento de padrões para a execução das camadas que apresentam maior repetitividade e que fazem parte de toda a execução da obra, e a criação de um sistema de medição de desempenho operacional para estas fases da construção.

O fato de estas camadas fazerem parte do dia-a-dia da obra, e de sua execução ser mais repetitiva foram os impulsionadores para selecioná-las como escopo para o primeiro projeto de implantação. A justificativa de fazê-lo vai além do maior impacto no resultado da obra, e passa pela estratégia de obter bons resultados já no primeiro EK e facilitar o processo de mudança nas pessoas da empresa.

Estas etapas de construção da rodovia não apresentavam nenhuma padronização, os tamanhos das canchas variavam muito em torno de uma média de 500 metros. Não existia gestão visual ou sequer controles do tipo panejado versus realizado para a execução das canchas.

A utilização de Gráficos de Gantt para representar a forma como são executadas estas camadas se mostrou bastante eficaz para mostrar as contribuições relacionadas às melhorias propostas.

A seguir está a representação de uma comparação entre a execução de uma destas camadas nas situações inicial e projetada para a E1:

Inicialmente foram medidos os tempos de cada processo de acordo com a Tabela 7:

Tabela 7: Lead Times dos processos na execução da regularização em canchas de 400 metros

Processo	LT em 400m
Escarificar	24
Estabilizar	120
Nivelar	43
Pré-compactar	36
Nivelar + grade	35
Compactar Hyster	36
Compactar	140
Acabar	16

E assim foi acompanhada a execução de duas canchas consecutivas de 400 metros de extensão, e o processamento foi representado com um Gráfico de Gantt.

Logo de inicio se pode observar que quanto maior o tamanho das canchas, maior os desperdícios associados ao seu processamento. Dessa forma pôde-se traçar um paralelo entre tamanho de cancha e lotes de produção, o objetivo desta melhoria passou a ser, além de estabelecer um melhor padrão de execução das camadas, vincular a este padrão um tamanho menor de canchas.

Em seguida foi repetido o experimento, porém agora executando os mesmos 800 metros de uma camada em quatro canchas de 200 metros. Novamente a combinação do trabalho foi representada em um gráfico de Gantt, e a comparação entre as duas execuções pode ser observada no Gráfico 4.

A título de ilustração foi traçado um comparativo da taxa de utilização dos equipamentos quando executados 800 metros de uma camada da rodovia com canchas de 400 metros e, posteriormente, com canchas de 200 metros, (como representado acima):

Tabela 8: Efeito da redução do tamanho das canchas

Taxa de utilização $(T.\text{total} - \text{espera})/T.\text{total}$	Tamanho da Cancha (m)	
	200	400
Rolo Hyster	14%	13%
Rolo Comp.	64%	56%
Estabilizadora	43%	38%
Motoniveladora	43%	38%

LT (min):	560	640
Metros exec.:	800	800
Hora Ex.	1,33	2,67

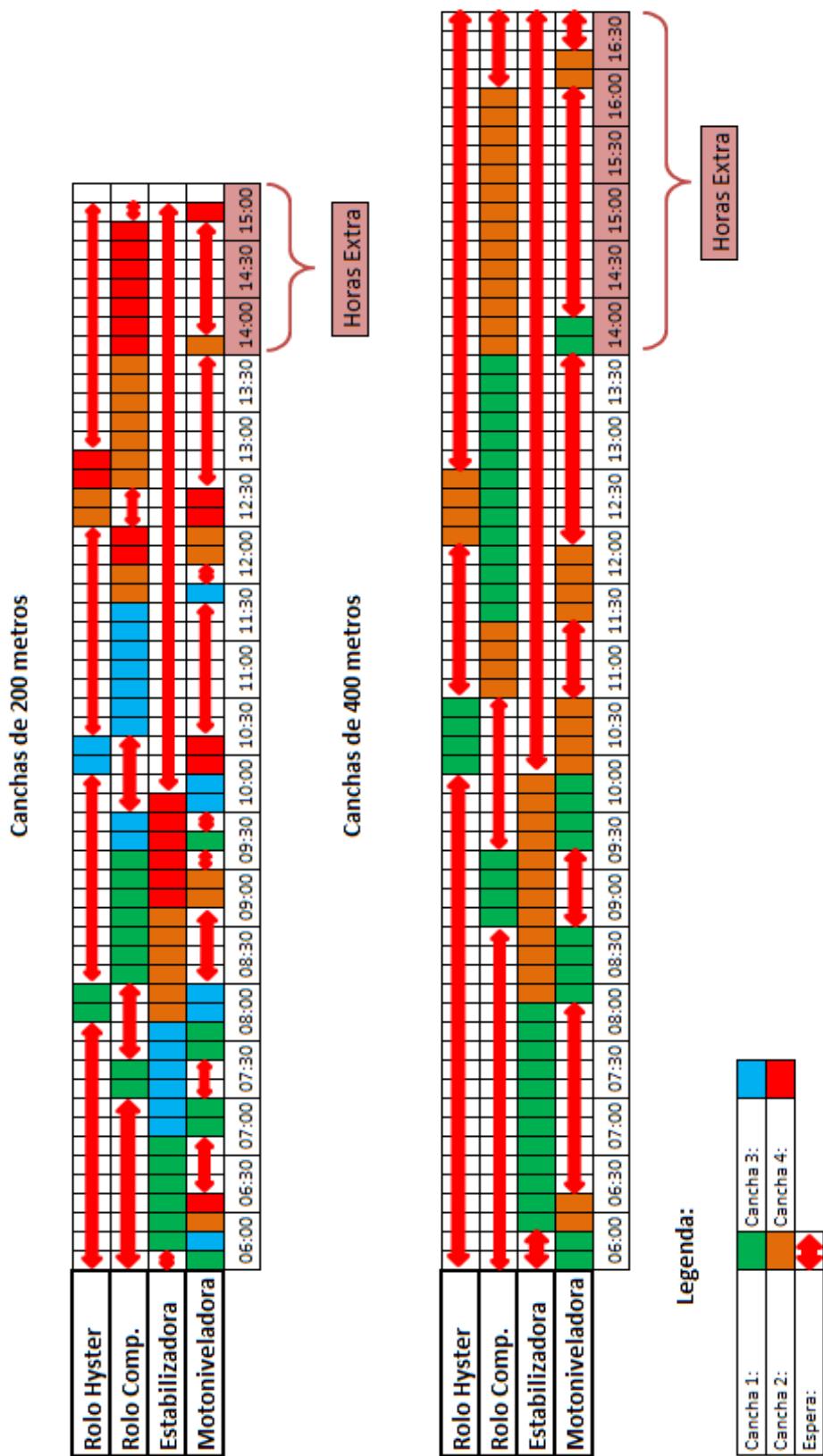


Gráfico 4: Comparação da execução de canchas de diferentes tamanhos

Desta forma, o padrão de execução proposto se baseia na premissa de que todas as camadas serão executadas em canchas de 200 metros de extensão, entretanto as definições não se restringem ao tamanho da cancha. No intuito de se aproximar da situação futura ideal desejada foi proposta a execução das canchas segundo uma dinâmica que proporcionasse que todas as camadas caminhassem junto todos os dias, ou seja, a obra avança como um todo, evitando movimentações exageradas e retrabalhar camadas anteriormente executadas.

A Tabela 9 representa o esquema resumido do novo padrão de execução:

Tabela 9: Representação da ideia de equipes de processamento

Processo	Equipamento:	LT -200m (min)	
Escarificar	Motoniveladora	9,3	69,3 min
Estabilizar Solo	Estabilizadora de solos	60,0	
Nivelar	Motoniveladora	20,0	
Pre-compactar	Rolo Hvster	12,0	84 min
Nivelar com Gradistas	Motoniveladora	20,0	
Compactar Hyster	Rolo Hyster	32,0	
Compactar	Rolo "pé de carneiro"	90,0	90 min

A Tabela 9, representa a relação de processos, equipamentos e *lead times* para a execução de uma cancha de sub-base de 200 metros de extensão.

O processo de compactar aparentemente é um gargalo, porém pode-se classificá-lo como falso gargalo, afinal é razoavelmente simples incorporar mais rolos “pé de carneiro” a execução deste processo reduzindo seu tempo de ciclo. Entretanto uma das condições que regem esta solução compreende a decisão de não aumentar o numero de rolos que compõe a frota.

Sendo assim a ideia a principio é se definir equipes de execução, compostos por um ou mais tipos de escapamento, na Tabela 9, também é possível observar a formação de três equipes;

- a) Equipe 1: composta pela estabilizadora de solos e por uma motoniveladora;
- b) Equipe 2: Formada pelo rolo Hyster e outra motoniveladora;
- c) Equipe 3 : representada pelos rolos “pé de carneiro”.

Desta forma tornar-se-ia factível criar um horizonte de acompanhamento de 90 minutos na produção, a cada 1,5 hora é possível observar o andamento da execução. Este controle se torna possível devido a uma sequencia de execução que provém de algumas predefinições:

- a) utilizar canchas de 200m;
- b) não executar canchas adjacentes concomitantemente para não causar interferência entre as manobras dos equipamentos;
- c) realizar varias camadas no mesmo dia (para esta obra: ultima camada do aterro, regularização e sub-base + lançamento da base);
- d) executar as duas metades da pista todos os dias.

Na prática segundo este padrão de trabalho, cada equipe realiza o processamento correspondente em uma cancha de 200 metros na camada de aterro e avança, cruzando a cancha seguinte, na qual estará sendo executado o lançamento de material (terra ou cascalho), chegando em uma nova cancha, que já está com a camada se regularização lançada. A equipe novamente realiza o processamento pelo qual responde, e prossegue da mesma forma, para uma cancha com a camada de sub-base lançada. No momento no qual a equipe 1 deixa uma cancha ela já está apta a receber a equipe 2, e assim sucessivamente.

Esta sequência de execução das canchas pode ser observada esquematicamente de acordo com a Figura 19:

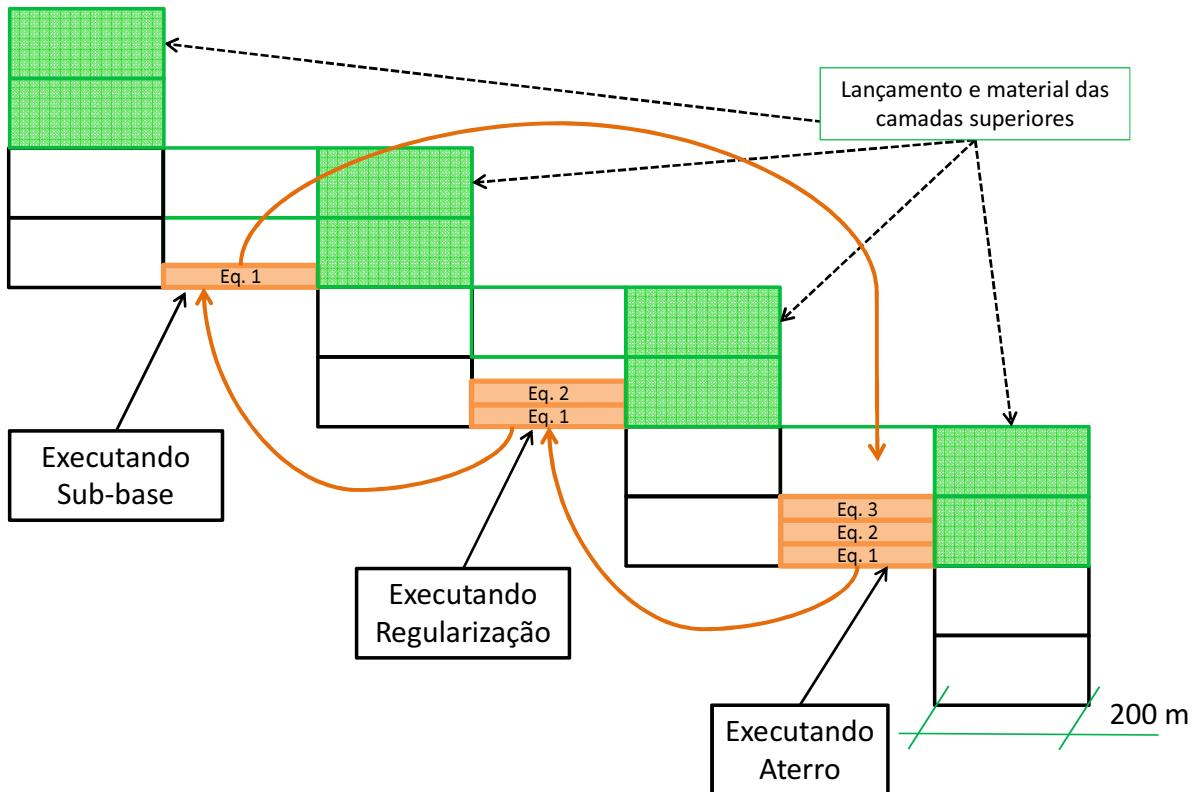


Figura 19: Representação esquemática de um padrão de trabalho das equipes

Alguns parâmetros desta proposição foram testados antes de sua implantação no primeiro Evento Kaizen. Os resultados não mostraram nenhum tipo de obstáculo a execução de canchas de 200 metros como sugerido.

3.2.6.3. Planejamento

Conforme já comentado anteriormente, inclusive seguindo o que foi descrito na seção 2.2.5 o desdobramento do planejamento da obra, e o acompanhamento da aderência ao realizado ao planejado normalmente é um aspecto da gestão negligenciado na construção civil. Na empresa E1 não é diferente, não existem controles visuais, tampouco horizonte de planejamento e controle diário, a atualização da situação da obra é falha, e quando acontece é de sema em semana. De fato não havia uma previsão clara e objetiva do horizonte de conclusão da obra, muito menos da capacidade de se construir a rodovia.

Para sanar esta carência foi proposto um mapeamento de todos os trechos já divididos dentro do consorcio, o levantamento das tarefas a serem executadas, e a

partir daí a definição de um ritmo no qual é necessário que a construção de rodovia caminhe para completa-la em um tempo satisfatório.

Este desdobramento completo do planejamento, no entanto não pôde ser completado, mas esquematicamente é possível ilustrar a ideia do projeto como proposto na Figura 20:

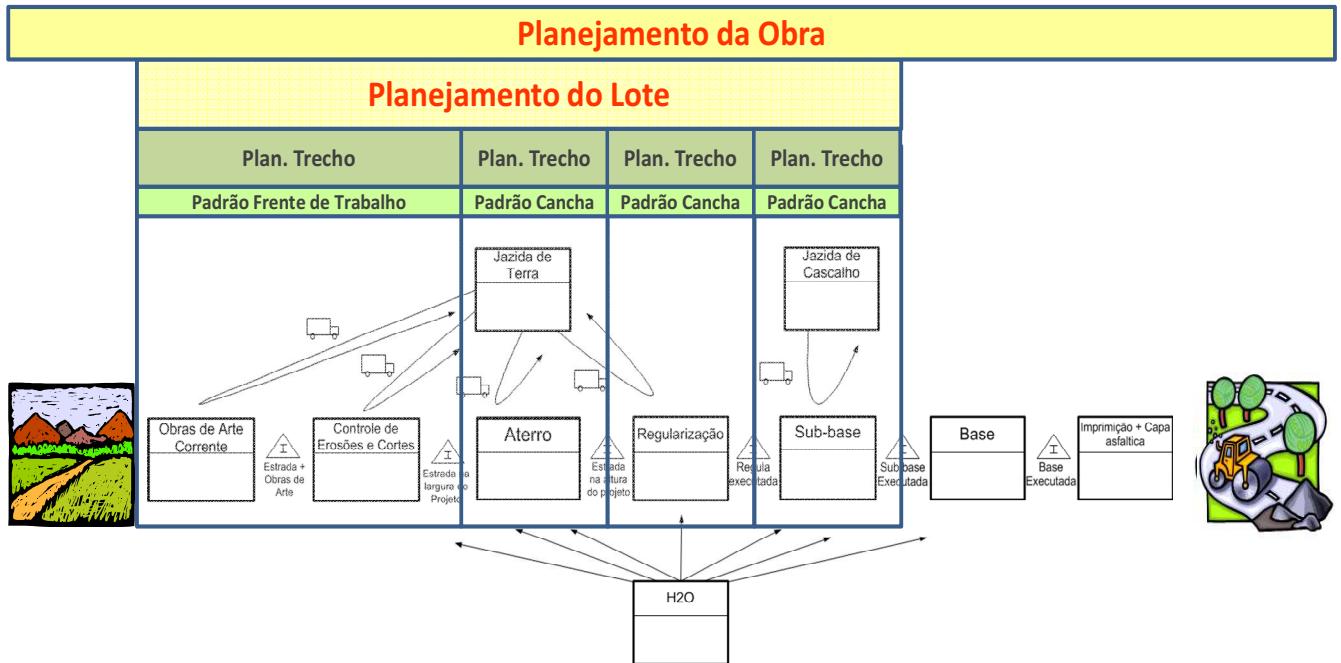


Figura 20: Níveis de planejamento da construção

Segundo este modelo, o dia a dia da execução de canchas deve se adaptar a um ritmo de produção que atenda a necessidade de se concluir um lote da obra. Os lotes por sua vez tem um horizonte de planejamento que devem respeitar os prazos em que se deseja completar a obra.

Os planejamentos de obra e lote compreendem outros fatores, que seriam contemplados no 3º Evento Kaizen, como infraestrutura de execução e planejamento de fontes de suprimentos e insumos.

4. CONCLUSÕES

Há mais de meio século que a Toyota Motror Company iniciou o desenvolvimento de seu sistema produtivo, baseado em práticas simples e visuais, na sustentabilidade e na melhoria contínua, a montadora japonesa deu origem a uma cultura corporativa que tem sido, ano após ano, estudada e adaptada a vários ambientes produtivos. Esta busca, por sua vez, criou a Produção Enxuta ou *Lean Manufacturing*, e posteriormente, aplicações mais específicas da filosofia originaram o *Lean Office*, *Lean Health Care* e até o *Lean Construction*.

Há quase vinte anos que os conceitos e técnicas da Produção Enxuta já fazem parte de discussões acadêmicas, em varias partes do mundo. Entretanto no Brasil são muito escassos e pontuais os casos da tentativa verdadeira de aplicar e desenvolver a Construção Enxuta.

O objetivo desta monografia foi trazer uma abordagem operacional dos conceitos e ferramentas da Produção Enxuta e do *Lean Construction*, apresentando metodologias e ferramentas para a implantação dos mesmos. Como resultado, este trabalho mostrou que existem, de fato, oportunidades de ganhos e melhorias ao lançar-se mão da aplicação tanto base conceitual como das ferramentas da Produção Enxuta na construção civil. Mais ainda como uma obra rodoviária mostrou certa repetitividade de processos ressalta-se a atratividade deste ambiente para a realização de um projeto de Produção Enxuta.

Mesmo com as barreiras impostas pela falta de padronização dos processos, pela presença de uma organização temporária, pela produção posicional e pela ausência de um sistema de planejamento da execução, existem métodos e ferramentas que podem ser adaptados a estes ambientes produtivos para se conseguir altos níveis de qualidade e produtividade.

A percepção de algumas organizações e pessoas de que a Produção Enxuta não é aplicável fora do ambiente de uma fábrica foi questionada neste trabalho. Afinal Produção Enxuta vai além de apenas tentar reduzir os estoques criar supermercados controlados por cartões. Trata-se de uma filosofia de produção que visa à eliminação de desperdícios em todos os processos de negócio das empresas, para assim valorizar apenas o que realmente agrega valor ao produto. Seguindo

esta lógica, esta monografia objetivou ilustrar a real potencialidade da filosofia da Produção Enxuta de melhorar o fluxo de valor de uma construtora de rodovias. Vale ressaltar que na avaliação do autor durante a realização deste trabalho, a construção civil apresenta ainda mais desperdícios do que os ambientes de manufatura, consequentemente tais desperdícios podem ser, em muito, reduzidos com o tipo de jornada proposta.

Uma contribuição esperada para este trabalho é justamente a constatação de que existem oportunidades reais para aplicação do *Lean Construction* em vários tipos de obra. Com isso, espera-se que essa filosofia possa penetrar de fato na gestão da construção civil, e trazer bons frutos para o setor que vive dias de real estrangulamento dentro de um ambiente de muitos desperdícios e ineficiências.

A ressalva a respeito do conteúdo desta monografia diz respeito aos resultados apresentados. Fazem parte dos mesmos o diagnóstico da aplicabilidade do *Lean Construction* em obras de infraestrutura rodoviária, registro do estado atual da operação da construtora, análise do fluxo de valor, projeto de situação futura, proposição de melhorias e, por fim, um plano de implantação. Entretanto não pôde ser acompanhado o real impacto das mudanças e as dificuldades apresentadas na implantação, os resultados são, portanto, majoritariamente qualitativos com algumas projeções de ganhos.

Desta forma, sugere-se que trabalhos futuros deem seguimento a projetos análogos ao apresentado, e baseiem seu estudo de caso tanto nos resultados numéricos das melhorias, como nas resistências à implantação das mudanças.

REFERÊNCIAS

- ABDELHAMID, T, & SALEM, O. (2005). *Lean Construction: A New Paradigm for Managing Construction Projects. The International Workshop on Innovations in Materials and Design of Civil Infrastructure*, Cairo, Egito.
- ALMEIDA, J.A.R. DE. (2006). *Uma visão geral da mentalidade enxuta, conceitos e ferramentas*. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos.
- ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres web site. Disponível em <<http://www.antt.gov.br>>. Acesso em 18 out. 2011.
- BALLARD, G. (2000). *The Last Planner System of Production Control*. Universidade de Birmingham. Birmingham , Reino Unido.
- BALLARD, G. & HOWELL, G. (1996). *Can Project Controls Do Its Job?*. 4^a conferência IGLC. Birmingham, Reino Unido.
- BALLARD, G.; HOWELL, G. (1998). *What Kind of Production is Construction?* 6^a conferência IGLC. Guarujá.
- BERNARDES, M. M. S. (2001). *Desenvolvimento de um modelo de planejamento e controle da produção para micro e pequenas empresas de construção*. Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.
- BRESCIANI, T. A. *Impacto da utilização do TPM na era das máquinas robóticas*. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos.
- CNT – Confederação Nacional do Transporte web site. Disponível em <<http://www.cnt.org.br>>. Acesso em 3 out. 2011.
- CORREA, H. L. & CORREA, C. A. (2005). *Administração de produção e de operações: manufatura e serviços: um enfoque estratégico*. São Paulo. Atlas.
- FORMOSO, C. T. (2000). *Lean Construction: Princípios Básicos e Exemplos*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.
- HINES, P. & TAYLOR, D. (2000). *Going Lean. A guide to implementation*. Lean Enterprise Research Center, Cardiff, Reino Unido.
- HOMINISS LEAN LEARNING & LEAN CONSULTING web site. Disponível em <<http://www.hominiss.com.br>>. Acesso em 21 out. 2011.
- HOMINISS LEAN LEARNING & LEAN CONSULTING. (2011). *Apostilas do Programa de Capacitação em Lean Production*. Campinas, 2011.
- IMAI, M. (1990). *Kaizen: a estratégia para o sucesso competitivo*. Tradução Cecília Fagnani Lucca. 3^a ed. IMAM.

IPEA, INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. (2011). Gargalos e demandas da infraestrutura rodoviária e os investimentos de PAC: mapeamento IPEA de obras rodoviárias. Brasília, 64p.

ISATTO, E. L. (2000). *Lean Construction: Diretrizes e Ferramentas para o Controle de Perdas na Construção Civil*. SEBRAE-RS, Porto Alegre.

INSFRÁN, A. A. L.(2001). *Um Sistema para Planejamento Operacional de Obras de Rodovias*. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo.

JUNQUEIRA, L. E. J. (2006). *Aplicação da Lean Construction para Redução dos Custos de Produção da Casa 1.0®*; Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo.

KEMPENICH, S. (2009). *Práticas da produção enxuta no contexto da construção e manutenção de redes de distribuição de utilidades*. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo.

KOSKELA, L. (1992). *Application of the new production philosophy to construction*, Technical report No. 72, CIFE. Stanford University. Stanford, EUA.

KOSKELA, L. (2004), *Making - Do –The Eighth Category of Waste*, International Group for Lean Construction 12^a conferência IGLC. Copenhagen, Dinamarca.

LIKER, J. K. (2005). *O Modelo Toyota*. Porto Alegre, RS. Editora Artmed.

LIKER, J. K . & HOSEUS, M. (2008). *Toyota Culture – The heart and the soul of the Toyota way*. New York, USA. McGraw-Hill.

Ministério dos Transportes web site. Disponível em <<http://www.transportes.gov.br>>. Acesso em 3 out. 2011.

NAZARENO, R. R. (2003). *Desenvolvimento e aplicação de um método para implementação de sistemas de produção enxuta*. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos.

OHNO, T. (1988). *Toyota Production System*. Productivity Press.

KANNENBERG, G. (1994). *Proposta de Sistemática para Implantação de Troca Rápida de Ferramentas*. Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

PENEIROL, N. L. S.. (2007). *Lean Construction em Portugal – caso de estudo de implementação de sistema de controlo da produção – Last Planner*. – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa, Portugal.

- RECHULSKI, K. D. & CARVALHO, M. M. (2004). Programa de Qualidade Seis Sigma – Características Distintivas do Modelo DMAIC e DFSS. Revista PIC-EDUSP, nº 2.
- RENTES, A. F. (2000). *TransMeth - Proposta de uma Metodologia para Condução de Processos de Transformação de Empresas*. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- RIBEIRO, H. (2006). *A bíblia do 5S*. 2º ed. Salvador, Casa da Qualidade.
- ROTHER, M. & HARRIS, R. (2002). *Criando um fluxo contínuo – um guia de ação para gerentes, engenheiros e associados da produção*. São Paulo, SP. Lean Institute Brasil.
- ROTHER, M. & SHOOK, J. (1999). *Aprendendo a Enxergar – Mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício*. São Paulo, SP. Lean Institute Brasil.
- SAIA, R. (2009) *O Lean Manufacturing aplicado em ambientes de Produção Engineer to Order*. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- VRIJHOEF, R. & KOSKELA, L. (2005a). *Revisiting the Three Peculiarities of Production in Construction*. 13ª conferência IGLC. Sydney, Austrália.
- SHINGO, S. (1996). *O sistema Toyota de produção do ponto de vista da engenharia de produção*. Porto Alegre: Bookman.
- WOMACK, J. P.; JONES, D.T (1996). *Lean thinking: banish waste and create wealth in your corporation*. New York, Simon & Schuster.
- WOMACK, J. P. JONES, D. T. ROOS, D. (1992). *A Máquina que mudou o mundo*. Campus: Rio de Janeiro