

**UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO – UNINOVE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE  
PRODUÇÃO**

**EDGAR TIVELLI TAMBERG**

**MANUFATURA ENXUTA: ESTRUTURA PARA IMPLEMENTAÇÃO EM  
EMPRESAS DE PRODUÇÃO NÃO SERIADA DO TIPO “*ENGINEER-TO-ORDER*”  
(ETO)**

**SÃO PAULO  
2019**

**UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO – UNINOVE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE  
PRODUÇÃO**

**EDGAR TIVELLI TAMBERG**

**MANUFATURA ENXUTA: ESTRUTURA PARA IMPLEMENTAÇÃO EM  
EMPRESAS DE PRODUÇÃO NÃO SERIADA DO TIPO “ENGINEER-TO-ORDER”  
(ETO)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Nove de Julho – UNINOVE, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Wagner Cezar Lucato

**SÃO PAULO  
2019**

Tamberg, Edgar Tivelli.

Manufatura enxuta: estrutura para implementação em empresas de produção não seriada do tipo “Engineer-to-Order”, ETO. / Edgar Tivelli Tamberg. 2019.

106 f.

Dissertação (mestrado) – Universidade Nove de Julho - UNINOVE, São Paulo, 2019.

Orientador (a): Prof. Dr. Wagner Cezar Lucato.

1. Manufatura enxuta. 2. Manufatura enxuta em empresas de produção por encomenda. 3. Implementação da manufatura enxuta.

I. Lucato, Wagner Cezar.

II. Título

CDU 658.5

Dedico este trabalho à minha esposa,  
aos meus filhos e ao meu neto.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por ter me dado forças para cumprir mais uma fase de minha formação, à minha mãe e ao meu pai (*in memoriam*) por terem contribuído desde sempre para que o estudo fizesse parte da minha vida, incentivando-me e apoiando. A meus filhos que souberam compreender o motivo de minha ausência e, particularmente, à minha esposa por ter ido além ao me dar apoio nos momentos que precisei.

Também à Universidade Nove de Julho pela oportunidade, ao meu orientador, Prof. Dr. Wagner Cezar Lucato que, com presteza e competência, orientou-me para que eu conseguisse receber este título.

A todos os professores que, ao longo do curso, trouxeram-me conhecimento e experiência para o curso em si e do mundo acadêmico, em especial, ao Prof. Athos Paulo Tadeu Pacchini a quem tive a satisfação de acompanhar em suas aulas da graduação.

Aos meus colegas de mestrado, colegas da indústria e a todos que contribuíram com a minha formação de algum modo, a minha gratidão.

## RESUMO

A manufatura enxuta tem sido um paradigma cada vez mais adotado na indústria de produtos seriados, o que pode ser observado tanto na literatura quanto na prática das empresas. No entanto, para indústrias que trabalham sob encomenda, *engineer-to-order* (ETO), tanto no meio acadêmico como o uso prático por tais indústrias mostram-se bastante limitados. Por essa razão, neste estudo faz-se uma pesquisa acerca da aplicação do sistema de manufatura enxuta em empresas de produção não seriada, do tipo *engineer-to-order* (ETO). Por meio de uma revisão da literatura existente, foram verificados os modelos de processos de implementação e ferramentas utilizadas para viabilizar a adoção da manufatura enxuta em empresas do tipo ETO. E a partir dessa avaliação, foi proposto um modelo específico para indústrias de bens sob encomenda não seriados. A validação da estrutura proposta se deu por meio de uma pesquisa-ação conduzida em uma empresa fabricante de bens de capital sob encomenda, especificamente, equipamentos eletromecânicos de grande porte. Esse tipo de indústria, na maioria das vezes, produz apenas uma única peça por vez. Sendo assim, escolheu-se uma peça representativa dentro do conjunto de produtos que forma uma unidade geradora de energia elétrica e que fizesse parte do caminho crítico do produto. A partir desse projeto piloto, implementaram-se as técnicas e as ferramentas pertinentes de acordo com a estrutura proposta de modo que a sequência de atividades, a forma de trabalho e os resultados, obtidos na produção, validaram a proposição de aplicação da manufatura enxuta nesse tipo de produção, bem como evidenciaram ganhos relevantes decorrentes desse tipo de implementação.

**Palavras-chave:** Manufatura Enxuta. Implementação da manufatura enxuta. Manufatura enxuta em empresas de produção por encomenda.

## **ABSTRACT**

Lean manufacturing is a paradigm increasingly adopted in the serial product industry, which can be observed both in the literature and in company practice. However, for engineer-to-order (ETO) industries, both academic production and practical use by such industries are very limited. For this reason, this study makes a research about the application of the system of lean manufacturing in companies of non-serial, engineer-to-order (ETO) type. Through a review of the existing literature, we verified the models of implementation processes or frameworks and tools used to enable the adoption of lean manufacturing in companies of type ETO and from this evaluation a specific model was proposed for industries of goods under order not serial. The validation of the proposed framework was done through an action research conducted in a company that manufactures custom capital goods, specifically large electromechanical equipment. This type of industry most often produces only one piece at a time, and thus a representative piece was chosen within the set of products that form an electrical generating unit and that was part of the critical path of the product. From this pilot project, the pertinent techniques and tools were implemented according to the proposed framework so that the sequence of activities, the way of working and the results obtained in the production validated the proposal of application of lean manufacturing in this type of production, as well as evidence of significant gains from this type of implementation.

**Key words:** Lean Manufacturing. Implementation of lean manufacturing. Lean manufacturing in ETO production.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Produção em Fluxo .....	15
Figura 2 – Delimitação deste trabalho .....	21
Figura 3 – Estrutura para implementação da manufatura enxuta .....	30
Figura 4 – Estrutura para implementação da produção enxuta .....	32
Figura 5 – Ferramentas utilizadas para implementação da produção enxuta.....	33
Figura 6 – Estrutura genérica para gerenciamento da implantação de manufatura enxuta .....	34
Figura 7 – Componentes necessários para aplicação dos princípios da manufatura enxuta .....	35
Figura 8 – Estrutura para implementação da manufatura enxuta .....	36
Figura 9 – Estrutura para implementação da manufatura enxuta .....	37
Figura 10 – Estrutura para implementação da manufatura enxuta .....	38
Figura 11 – Modelo de produção enxuta .....	38
Figura 12 – Guia geral para aplicação das ferramentas utilizadas na manufatura enxuta em Indústrias de Processo: Função Característica do Produto .....	39
Figura 13 – Guia geral para aplicação das ferramentas utilizadas na manufatura enxuta em Indústrias de Processo: Função Fluxo do Material .....	39
Figura 14 – Estrutura teórica para implementação da manufatura enxuta .....	40
Figura 15 – Estrutura para implementação da manufatura enxuta em PMEs.....	41
Figura 16 – Processo típico para implementação enxuta .....	42
Figura 17 – Processo de implementação enxuta em fases .....	42
Figura 18 – O ciclo de Deming em todos os níveis da empresa.....	46
Figura 19 – Estrutura deste trabalho.....	54
Figura 20 – Estrutura para implementação da manufatura enxuta em ETOs.....	59
Figura 21 – Esquema representativo da pesquisa ação .....	63
Figura 22 – Desenvolvimento da pesquisa-ação.....	67
Figura 23 – Arranjo geral da seção da casa de força.....	68
Figura 24 – Arranjo geral da turbina e vista em corte .....	69
Figura 25 – Exemplo de Redução de <i>setup</i> .....	74



Figura 26 – Mapeamento de família de produtos .....	77
Figura 27 – Organograma antigo .....	77
Figura 28 – Novo organograma com Mini Fábricas.....	78
Figura 29 – Delimitação física de área de espera .....	79
Figura 30 – Eixo da Turbina .....	80
Figura 31 – Croqui do Eixo da Turbina .....	81
Figura 32 – Percurso da peça no roteiro corrente .....	83
Figura 33 – Mapa da situação atual de fabricação dos Eixos.....	84
Figura 34 – Novo mapa de processos e percursos .....	88
Figura 35 – Mapa de Valor – Estado Futuro.....	89
Figura 36 – Mudança e Melhoria.....	96
Figura 37 – Modelo de Melhoria .....	97

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados VSM Atual x Futuro.....	90
---	----

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Ferramentas, construtos e práticas .....	24
Quadro 2 – Características da pesquisa-ação.....	63
Quadro 3 – Contraponto na utilização de técnicas e ferramentas na pesquisa-ação..	94

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Material pesquisado.....	61
Gráfico 2 – Exemplo de Controle de <i>Run Time</i> .....	75
Gráfico 3 – Exemplo de controle MTBF e MTTR.....	76
Gráfico 4 – <i>Takt time</i> para cenário atual.....	85
Gráfico 5 – <i>Takt time</i> para cenário futuro.....	90
Gráfico 6 – Horas improdutivas mensais – por origem.....	93

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	14
1.1. Contextualização.....	14
1.2. Identificação da Lacuna de Pesquisa .....	18
1.3. Problema de Pesquisa .....	19
1.4. Objetivos .....	20
1.4.1 Objetivo Principal .....	20
1.4.2 Objetivos Específicos .....	20
1.5. Delimitação do Estudo .....	21
1.6. Justificativa para o Estudo .....	21
1.7. Estrutura do Trabalho .....	22
2. REVISÃO DA LITERATURA .....	23
2.1. Ferramentas e Técnicas.....	23
2.1.1. Just in Time e Work in Progress.....	24
2.1.2. Trabalho Padrão.....	26
2.1.3. Manutenção Produtiva Total (TPM) .....	27
2.1.4 Mapeamento de Valor (VSM) .....	28
2.2 Estruturas de Implementação .....	29
2.3 Pré-Requisitos.....	42
2.3.1 Programa 5S .....	43
2.3.2 Qualidade Total.....	44
2.3.3 Melhoria Contínua .....	44
2.3.4. Compromisso, Participação e Apoio da Alta Gestão .....	46
2.3.5. Gestão da Comunicação .....	48
2.3.6. Treinamento .....	49
2.3.7. Gestão de Indicadores .....	51
2.3.8. Gestão do Conhecimento .....	52
2.4 Resumo e Estrutura da Revisão Bibliográfica.....	53
3. PROPOSTA DA ESTRUTURA PARA IMPLANTAÇÃO.....	56
3.1. Estrutura Proposta .....	58
4. MÉTODOS DE PESQUISA.....	61
4.1. A Escolha do Método de Pesquisa .....	62
4.2. A Pesquisa-Ação.....	65
4.2.1. Estruturação da pesquisa-ação .....	67
5. PESQUISA-AÇÃO – RESULTADOS.....	68
5.1 A Empresa .....	70

5.1.1 O Programa 5S .....	71
5.1.2. Melhoria contínua.....	73
5.1.3. Redução do tempo de preparação de máquina, <i>Setup</i> .....	73
5.1.4. Manutenção Produtiva Total.....	74
5.1.5. Famílias de componentes .....	76
5.2. A Equipe do Projeto de Implantação .....	80
5.3. Definição do Projeto Piloto .....	80
5.4. Desenhando o Mapa de Valor Estado Atual – VSM .....	81
5.4.1. Mapa do Estado Atual .....	81
5.4.2. Processo de fabricação atual .....	82
5.4.3. Mapa de Valor estado atual.....	83
5.4.4. <i>Takt time</i> estado atual .....	85
5.5. Projetando Mapa de Valor Estado Futuro – VSM .....	86
5.5.1. Processo de fabricação futuro .....	87
5.5.2. Mapa de Valor estado futuro .....	88
5.5.3. <i>Takt time</i> estado futuro.....	89
5.6. Resultados .....	90
5.7. Validação da Estrutura Proposta.....	91
6. DISCUSSÃO .....	91
7. CONCLUSÃO .....	95
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	99

## 1. INTRODUÇÃO

O dinamismo do mercado e as constantes mudanças nas demandas dos clientes, seja por variação das características do produto, na quantidade de fornecimento ou mesmo no grau da qualidade, sempre trazem dificuldades às organizações de manufatura o que os obriga a avaliarem constantemente suas operações e sistemas.

A manufatura enxuta é um forte aliado na busca desses objetivos (ANAND; KODALI, 2010). Por sua importância, esse contexto foi o escolhido para o desenvolvimento deste trabalho.

### 1.1. Contextualização

O sistema de manufatura, em geral, representa a maior parte do ativo nas organizações, cuja essência é a transformação, incluindo também a maioria de seu pessoal. Basicamente, forma a principal estrutura que sustenta a organização e é quem, no final, garante sua sobrevivência e sustentabilidade diante da concorrência. E quem fornece substrato às melhorias constantes e gradativas, assegurando o desempenho e a competitividade (SLACK, 2002).

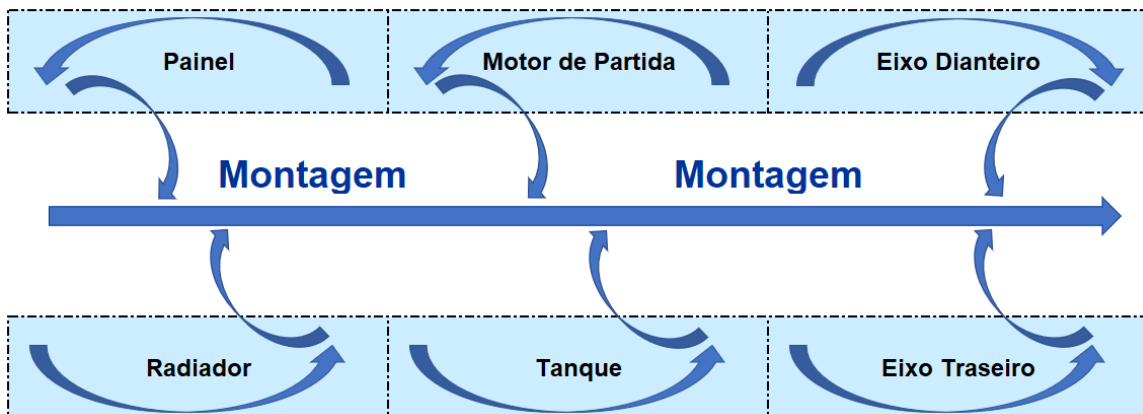
Ao longo do tempo, o setor da manufatura evoluiu desde os sistemas de produção por artesãos, os quais criavam o produto específico mediante a necessidade do cliente com um alto custo associado, pois não havia sistemas de manufatura associados a esse tipo de produção. É preciso observar também que os fornecedores de produtos artesanais estavam localizados em regiões geográficas específicas, onde a natureza do tipo de produto determinava sua evolução técnica e garantia a passagem de conhecimento, dessa forma, a produção em larga escala era inviável (HU, 2013).

O primeiro grande marco na evolução dos sistemas de manufatura foi a Revolução Industrial em 1760, momento em que os processos artesanais passaram a ser executados por máquinas. É considerado, portanto, o desenvolvimento mais importante da História humana dos últimos três séculos, uma vez que ainda continua moldando o mundo até os dias de hoje (STEARNS, 2013). Sobretudo, pelos processos mecanizados que foram potencializados com a invenção da máquina a vapor em 1764 (SMITH, 1776).

Segundo HU (2013), a produção em massa passou a fornecer produtos com baixo custo através de um alto volume de produção, no entanto, para garantir o alto volume de produção desses produtos, não poderiam ser oferecidos com nenhum tipo de variação, tal afirmação pode ser reforçada através da famigerada frase de Henry Ford: “qualquer cliente pode ter um carro pintado de qualquer cor desde que seja preto”.

Além dos benefícios em termos de custos obtidos pela produção em massa, a companhia Ford, em 1913, experimentou uma redução expressiva do tempo de ciclo, a partir do momento em que identificou o tempo despendido pelos operários para levar e trazer componentes a serem montados em um subconjunto do automóvel modelo T. Com a simples ideia de os subconjuntos passarem à frente dos montadores, evitavam-se as caminhadas desnecessárias e ordenava-se a fabricação como se fosse um fluxo, cujo resultado fora o ganho de muita eficiência no processo de fabricação, conforme FIGURA 1. Esses sistemas se mostraram eficientes para um alto nível de fabricação, nesse caso, uma larga escala produtiva (WOMACK; JONES; ROOS, 2007, p. 26).

Figura 1 – Produção em Fluxo



Fonte: elaborado pelo autor.

Segundo Liker (2004), a Toyota, após a Segunda Guerra Mundial, em 1950, tinha um negócio automotivo em desenvolvimento, o Japão havia sido dizimado por duas bombas atômicas, a maioria das indústrias havia sido destruída, a base de fornecedores era nula e os consumidores tinham pouco dinheiro.

Nesse cenário, tanto o país quanto a *Toyota Motor Company* estavam em crise, após treze anos de esforços, a produção de automóveis diárias da Toyota era menos



do que a metade da fábrica Rouge da Ford. Em busca de ideias, Eiji Toyoda, realizou uma excursão pelas fábricas dos EUA, incluindo o complexo “*River Rouge*” da Ford, ao retornar, mediante o panorama absorvido na excursão, discutiu com o engenheiro responsável pela produção, Taiichi Ohno, da impossibilidade de aplicar os processos da produção em massa no Japão, visto que não funcionariam, contudo, ambos entenderam que havia possibilidades para melhorar o sistema produtivo (DENNIS, 2015).

Após a visita aos EUA, foi proposto ao corpo técnico da Toyota um desafio de buscar os índices dos americanos em três anos, o que parecia uma missão impossível, pois matematicamente teria que ser aumentada a produtividade da mão de obra em quase dez vezes (OHNO; 1997).

O corpo de engenheiros, liderado por Taiichi Ohno, encarregou-se de pensar o modo como a produção poderia funcionar através de um fluxo contínuo e, adaptando-se ao mercado automobilístico japonês, conseguir que a nova configuração, além de garantir a produtividade, almejada pudesse ser feita considerando-se lotes menores, afinal, essa característica impactava diretamente na flexibilidade (WOMACK; JONES, 1996).

Diante dessa situação, Toyoda e outros líderes industriais japoneses como Shigeo Shingo e Taiichi Ohno criaram um novo sistema disciplinado e orientado para processos, o qual evoluiu para o Sistema Toyota de Produção (TPS), mais tarde conhecido como manufatura enxuta ou *Lean Manufacturing* (LM) (DENNIS, 2015).

Utilizando-se de várias ideias implementadas por Ford, especialmente as linhas de montagem com seus fluxos contínuos de material, e procurando adaptá-las à realidade japonesa, ou seja, um mercado bem menor e com demanda pela diferenciação de produtos, cujo resultado, na década de 1940, surgiu com o Sistema Toyota de Produção (STP) e continua a crescer em todo o mundo (ABDULMALEK; RAJGOPAL; NEEDY, 2006).

Pensando na manufatura enxuta, tendo como norte a satisfação do consumidor, é importante levar em consideração outras duas características que devem ser bem definidas: as fronteiras entre a produção e o consumo e uma forma eficaz para levantar e eliminar, ou minimizar, os desperdícios (RODRIGUES, 2016).

Segundo literatura técnica existente, especificamente Womack e Jones (1996), foram elaboradas algumas premissas básicas para caracterizar um sistema de manufatura para que possa ser aceito como enxuto:

- Defina e aumente o valor do produto de forma que o cliente reconheça e esteja disposto a pagar por isso;
- Faça um mapa de valor e separe ações que agreguem valor, ou que não agreguem, mas sejam necessárias à obtenção dos produtos, quanto às que não agreguem e sejam passíveis de eliminação;
- Utilize o mapa de valor identificado, analisado e melhorado de maneira que projete o fluxo do valor;
- Coordene e gerencie seu mapa de valor e as atividades que nele constem de forma a evitar estoques intermediários (gestão da cadeia de suprimentos, *Work in Progress* – WIP), cuja melhor forma para efetivá-lo seja a que o cliente final solicite os produtos, ou seja, trata-se daquele que impulsiona o fluxo de produção;
- Nunca perca de vista o conceito de melhoria contínua, pequenas melhorias todos os dias farão uma grande diferença no final.

A seguir os objetivos visam combater os principais desperdícios identificados nas organizações (OHNO,1978):

- Tempo de espera: operadores parados a esperar por esclarecimentos de dúvidas, por matéria-prima atrasada, dispositivos, instrumentos de medição etc.;
- Produto não conforme: procedimentos que tratam de características dimensionais ou físico-químicas;
- Tempo de transporte: toda operação de transporte de um produto acabado ou matéria-prima é uma fonte de desperdício, minimizá-la ao máximo deve ser um objetivo;
- Tempo com movimentação de pessoal: em busca de materiais, equipamentos e consumíveis que caracterizam outra fonte importante de desperdício;
- Inventário: tanto estoques de matéria-prima, bem como produtos fluindo pela manufatura, sem estarem incluídos em um fluxo de produção, configuram capital investido, ocupam área fabril e geram dificuldades de controle da produção;

- Superprodução: característica de falta de previsibilidade e gerenciamento dos produtos acabados;
- Processos desnecessários: possíveis atividades inclusas por falta de segurança, que atuam como redundância de processos ou excesso de zelo.

Resumidamente, Womack e Jones (1996) definiram que a manufatura enxuta consiste na identificação de valor de cada produto do ponto de vista do cliente. Para tanto é necessário trabalhar esse valor em forma de fluxo contínuo e permitir que o cliente se sinta atendido com relação ao custo dos atributos incutidos no produto e, por isso, operar dia a dia com melhorias incrementais para atingir metas e superá-las.

## 1.2. Identificação da Lacuna de Pesquisa

As aplicações da manufatura enxuta, em diferentes tipos de indústria, crescem rapidamente sendo que, em alguns casos, os relatos mostram muitos benefícios, enquanto outros não se mostram favoráveis (ANAND; KODALI, 2010). Tais aplicações também estão a ser implementadas em diferentes setores produtivos na busca de melhor gestão e competitividade (BLACK; HUNTER, 2003; PIERCY; RICH, 2009).

As grandes organizações foram as primeiras a buscar a implementação da manufatura enxuta, porém como os objetivos podem ser estendidos a quaisquer organizações, mas também pequenas e médias organizações passaram gradualmente a implantá-la (LUCATO *et al.*, 2014).

Muito mais do que apenas uma estratégia de redução de custos através da eliminação de desperdícios, vários autores consideram a implementação da manufatura enxuta como uma estratégia de negócio cujo intuito é posicionar as organizações com nível de desempenho de classe mundial, sob o princípio fazendo mais com menos recursos, quer sejam materiais, humanos ou de tempo (SHAH; WARD, 2003; WOMACK; JONES; ROOS, 1988; WOMACK; JONES, 1996).

Conforme abordado acima, a literatura sobre manufatura enxuta foca as atenções para produtos de produção seriada. Entre a revisão da literatura feita, dois artigos tratavam de manufatura enxuta para produção *engineer-to-order* (ETO) (MATT, 2013; ZHOU; ZHANG; WANG; XIAO, 2016), no entanto, abordam exclusivamente a aplicação do mapa de valor. Um dos artigos acerca de PMEs (BELHADI; TOURIKI; FEZAZI, 2016) utiliza três estudos de caso para validar um

*framework* de implementação no qual uma das três empresas estudadas sugere ser uma organização tipo ETO. Assim surge, como oportunidade de pesquisa para este trabalho, o desenvolvimento de um *framework* para implementação em organizações que tenham produção não seriada do tipo ETO.

O termo *Engineer-to-order* (ETO) refere-se a uma estratégia com a qual as engenharias de projetos, suprimentos de materiais e a produção não se iniciam antes de a compra do cliente ser confirmada. Considerando-se as características do processo do produto nesse tipo de ambiente, este é item altamente personalizado e específico para cada cliente, produzido em baixo volume. E os processos, normalmente, não são repetitivos, exigindo muita mão de obra e, em grande parte das vezes, que seja altamente qualificada. Sendo assim, as empresas de ETO não podem prever com precisão a demanda, encomendar materiais e produzir com antecedência, ou efetivamente aplicar métodos de produção em lote (POWELL *et al.*, 2014).

Os processos de manufatura em um ETO podem ser descritos de uma forma simplificada como se segue:

- Os projetos são fechados;
- Dá-se início a execução dos desenhos construtivos de acordo com as especificações técnicas;
- Os pedidos são colocados em produção;
- Pedidos de compra de matéria-prima são colocados de forma simultânea, ou antecipadamente, de acordo com o tipo e a complexidade do fornecimento;
- Produtos acabados são entregues aos clientes após a montagem final.

### **1.3. Problema de Pesquisa**

Dada a sua origem, indústria automobilística, o sistema se difundiu e hoje é muito presente em indústrias de produção seriada. Para tanto, muitos trabalhos a respeito de estruturas de implementação foram desenvolvidos, como exemplo: Anand e Kodali (2010); Mostafa *et al.* (2013); Karim; Zaman (2013); Powel *et al.* (2013); e Nordin *et al.* (2012).

Apesar da literatura disponível, em termos de estruturas de implementação e aplicações sobre o sistema de manufatura enxuta, constata-se uma lacuna no que diz respeito a um material dedicado especificamente às empresas de produção não seriada, sob encomenda, ou seja, projetos únicos, empresas do tipo ETO.

Entre os principais objetivos da empresa: sustentabilidade, preservação do meio ambiente e do ser humano, a perenidade da lucratividade é um aspecto imprescindível. De modo que ter clientes atendidos e satisfeitos, a organização precisa tornar-se sempre a primeira alternativa quando de uma nova aquisição, trata-se, portanto, do melhor meio de garantir todos os demais objetivos. Em contrapartida, permite que os clientes determinem, na maioria das vezes, as condições comerciais e de prazos e faz com que as organizações saiam de sistemas produtivos com foco na produção e busquem atender ao mercado (SIPPER; BULFIN,1997).

O cerne deste trabalho é analisar e discutir a seguinte questão:

**– Como estabelecer, com base na literatura, uma estrutura para implementação da manufatura enxuta em empresas de produção não seriada, tipo ETO – “*Engineer-to-order*”?**

#### **1.4. Objetivos**

Com o intuito de responder às questões de pesquisa propostas, os seguintes objetivos foram considerados:

##### **1.4.1 Objetivo Principal**

Propor um *framework* de implementação da manufatura enxuta para empresas de produção não seriada sob encomenda tipo ETO.

##### **1.4.2 Objetivos Específicos**

Como objetivos específicos foram estabelecidos:

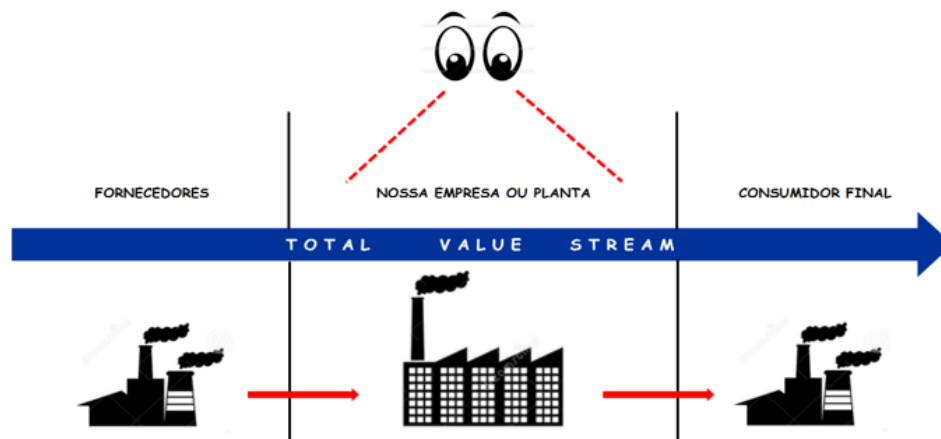
- Com base na literatura:
  - Identificar as estruturas de implementação de manufatura enxuta existentes;
  - Avaliar dentro do que existe na literatura o que adere aos sistemas produtivos sob encomenda e não seriados.
- Realizar uma pesquisa-ação e através dela validar a proposição de estrutura de implementação da manufatura enxuta para empresas de produção não seriada sob encomenda tipo ETO.

## 1.5. Delimitação do Estudo

Em função do objetivo deste trabalho e de a validação da proposição de uma estrutura de implementação ser baseada em uma pesquisa-ação, o estudo está limitado a empresas de produção de bens de capital de equipamentos pesados sob encomenda, não seriados, ou seja, tratam-se de indústrias metal-mecânicas pesadas.

O foco também está em explorar mais e focar no ambiente fabril, de maneira que este trabalho não aborda os desdobramentos do sistema de manufatura enxuta em fornecedores e clientes finais. Tais aspectos poderão ser tratados em novos trabalhos.

Figura 2 – Delimitação deste trabalho



Fonte: Rother e Shook (2009).

## 1.6. Justificativa para o Estudo

A literatura existente confirma que os princípios da manufatura enxuta se aplicam a qualquer tipo de produto, serviço, ou mesmo, formas diferentes de produção, plenamente justificável visto que basicamente se preconiza a eliminação de desperdícios (WOMACK; JONES, 1996). Por outro lado, também é farta em mostrar experiências de implementações malsucedidas. Como exemplos, é possível citar Marvel e Standridge (2009) e Baker (2002) que trataram de situações ocorridas no Reino Unido indicando um índice de sucesso abaixo de 10%.

Após a implementação da manufatura enxuta, os resultados, ao longo do tempo, mostraram-se voláteis, com falta de padrão e regressão deles, uma vez que

em consonância com Mostafa *et al.* (2013), a provável causa dessa deterioração é uma falta de qualidade no aprendizado de técnicas, ferramentas e mesmo dos conceitos da manufatura enxuta.

Ainda na linha da deterioração dos resultados, Pavnaskar *et al.* (2003) destacam como um dos principais fatores a falta de entendimento correto do funcionamento das ferramentas, para que servem de fato. Há uma tendência, que acompanha todos os profissionais, de utilizar de recursos com os quais se sintam bem e assim usam-nos, na maioria das vezes, mesmo não sendo o mais correto.

O mal entendimento dos conceitos, das técnicas e das ferramentas como mencionado acima, levam a uma deterioração dos resultados implicando que novos esforços sejam feitos, o que configura desperdício e gera desconfiança na eficácia e na eficiência do projeto de manufatura enxuta, levando um risco real à continuidade do projeto (MARVEL; STANDRIDGE, 2009).

Todas as organizações, quando se decidem por implementar a manufatura enxuta, têm como inspiração o caso da Toyota, embora nem sempre a história de sucesso se repita.

Justifica-se, dessa forma, elaborar uma estrutura para implementação da manufatura enxuta especificamente para indústrias de produção não seriada, sob encomenda tipo *engineer-to-order*, levando-se em conta aspectos específicos desse tipo de indústria, de forma prática e objetiva contribuindo na melhoria dos processos internos e conseqüentemente com o aumento da competitividade.

### **1.7. Estrutura do Trabalho**

A estrutura é apresentada a seguir com o intuito de atender a seguinte proposta:

O primeiro Capítulo, além da contextualização do tema, apresenta a identificação da lacuna existente na bibliografia, a questão de pesquisa, os objetivos principal e secundários, limitações do trabalho, motivação para o estudo e a estrutura do trabalho. O segundo Capítulo trata da revisão bibliográfica. O terceiro Capítulo apresenta a proposta do *framework*. O quarto Capítulo detalha a metodologia de pesquisa utilizada. O quinto Capítulo mostra a pesquisa-ação e os resultados. O sexto realiza a discussão. Por fim, o sétimo aborda as considerações finais do presente trabalho. Seguem as referências bibliográficas sobre as quais a pesquisa é fundamentada.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

Com o foco definido em avaliar a aplicabilidade do sistema de manufatura enxuta em empresas de produção não seriada, sob encomenda com projetos específicos tipo ETO, foi realizada uma ampla pesquisa e constatado que a literatura técnica científica existente é muito vasta, no entanto, existem poucos trabalhos que tratam especificamente das organizações tipo ETO e estes, por sua vez, abordam pontos específicos do sistema de manufatura enxuta.

Tal situação não ocorre somente nesse tipo de pesquisa, por conta disso, conforme Cooper (1988), é possível que a revisão da literatura possa ser elaborada com base em uma abordagem de seleção intencional, na qual apenas artigos relacionados ao tema central de pesquisa são selecionados.

### 2.1. Ferramentas e Técnicas

Feld (2000); Taylor e Brunt (2001); Bhamu e Sangwang (2016) confirmam que uma gama muito grande de ferramentas e técnicas foram desenvolvidas e utilizadas sendo possível se constatar através da diversidade de casos e seus resultados. As ferramentas pertinentes à implementação da manufatura enxuta precisam ser integradas à prática na medida correta com o propósito de oferecer um processo de transformação simplificado e de alta qualidade consoante com Shah e Ward (2003).

No estudo de Pavnaskar *et al.* (2003), são destacadas as principais razões dos maus resultados da manufatura enxuta: o uso de ferramenta errada para resolver um problema, de ferramenta única para resolver todos os problemas e o mesmo conjunto de ferramentas em cada problema. Por sua vez, Browning e Health (2009) ressaltaram que a grande quantidade e, às vezes, complexidade das ferramentas e técnicas são as causas de se utilizá-las equivocadamente.

Um resumo das principais ferramentas e técnicas mais adotadas na manufatura enxuta é apresentado por Bhamu e Sangwan (2016), os quais enfatizam as mais evidentes: VSM, Kanban, Programa 5S, Kaizen e a maioria delas é utilizada em conjunto a depender do objetivo a ser alcançado. Os autores elucidaram ainda questões de estabilidade da máquina e do processo, melhoria da qualidade, controle de estoque e avaliação.



Quadro 1 – Ferramentas, construtos e práticas

Ponto Focal	Práticas					
Estabilidade de Processos e máquinas	Gestão Visual	VSM	Análise de causa raiz	5S	TPM	Trabalho padrão e Kaizen
Melhoria da Qualidade	QFD	Jidoka	Poka Yoke	Sistemas de inspeção	Six Sigma	TQM
Controle de Inventário	JIT	Sistema Puxado	Kanban	Heijunka	One piece flow e Fluxo contínuo	WIP
Avaliação	Benchmarking	Avaliação Hoshin	Avaliação de desempenho do departamento	Avaliação de desempenho do empregado	Satisfação do empregado	

Fonte: adaptado de Bhamu e Sangwang (2016)

Da mesma forma, Belhadi *et al.* (2016) relataram em um estudo, para implementação em pequenas e médias empresas, classificadas por faturamento e quantidade de colaboradores, que as ferramentas e as técnicas mais utilizadas seriam: Matriz de Produtos ou Processos, 5S, Mapa de Valor (VSM), Kaizen, manutenção Produtiva Total (TPM), Kanban, Células de Fabricação, Gerenciamento Visual, Trabalho Padrão e Gestão do Conhecimento.

### 2.1.1. Just in Time e Work in Progress

Em um processo de fluxo *Just in Time* (JIT), as peças necessárias para a montagem chegam à linha de montagem no instante exato em que serão utilizadas e nas quantidades necessárias. Se a empresa estabelecer esse fluxo de forma integral poderá manter um estoque próximo de zero (Ohno, 1997). Segundo a perspectiva de Coriat (1991), os princípios do JIT e do TQC apareceram como um dos pontos de virada mais importantes na história recente da gestão de operações.

Destacando que as práticas operacionais do JIT têm um profundo impacto na gestão de recursos humanos, porque exigem maior envolvimento e comprometimento por parte dos colaboradores. Blackburn e Rosen (1993) ainda enfatizaram que os Recursos Humanos assumem importância estratégica devido ao seu papel na continuidade dos planos os quais fazem com que a qualidade seja percebida com significativas melhorias, a base para o sucesso no modelo de produção enxuta.

A sistemática de manufatura poderia ser agrupada em blocos, o primeiro deles se refere ao desenvolvimento de produtos; o segundo, da forma de compra de matérias-primas e insumos, o terceiro bloco, da fabricação em si, o quarto bloco cuida

da distribuição desses produtos, dado que, em todos os estágios, a preocupação em eliminar desperdícios tem de estar presente. Karlsson e Åhlström (1995) mostraram ainda que essa estrutura deveria considerar princípios básicos que compõem a manufatura enxuta como eliminação de desperdício, melhoria contínua, zero defeitos, JIT, produção puxada em vez de empurrada, equipes multifuncionais, responsabilidades descentralizadas, funções integradas e sistemas de informação horizontais e verticais.

Womack e Jones (1996) definiram que o sistema *Just in time* (JIT) é idealizado para produzir e entregar os itens certos no momento certo e nas quantidades certas. Abordagens *Just in time* e *Just on time* ocorrem quando atividades são precisas, da ordem de minutos ou segundos, de forma que o fluxo de peça única seja possível. Os elementos-chave do *Just in time* são fluxos, sistema puxado, trabalho padrão e *takt time*.

Segundo Harrison e Storey (1996) e Emiliani (2006), o sistema JIT e o Sistema Toyota de Produção se tornaram uma das várias novas abordagens de gestão para melhorar o desempenho dos negócios, juntamente com a melhoria do gerenciamento de qualidade total (TQM) e fabricação de classe mundial (WCM). Na mesma linha de pensamento, Hines (1997) destacou que a entrega feita nos moldes do JIT tem sido um elemento-chave no desenvolvimento da produção enxuta nas empresas.

O *Just in time* (JIT) atinge o nível ideal de produção com processos que empregam um estoque mínimo (idealmente zero) por meio de uma estratégia na qual cada operação fornece peças ou produtos para operações sucessoras no momento exato em que são exigidas. O sistema é utilizado através de uma estrutura contínua de processos que emprega colaboradores multifuncionais os quais executam apenas operações de valor agregado, o sistema de produção puxada é amplamente empregado para assegurar que a produção atenda à demanda e que os estoques intermediários também fiquem em um nível o mais baixo possível WIP (DETTY; YINGLING, 2000).

Sanchez e Perez (2001) mencionam que a filosofia JIT implica em fornecer a peça correta na quantidade necessária e no momento certo. Para tanto, é aconselhável uma redução nos lotes previstos para fabricação, contribuindo assim na redução tanto do estoque quanto do tempo total de fornecimento.

Em seus estudos, Singh *et al.* (2009) analisaram e comentaram o fato de, na Índia, os estoques serem em geral altos, e, em vista de ser um dos desperdícios

capitais, as organizações seriam beneficiadas em muito com a adoção do sistema de manufatura enxuta, em especial, o controle de WIP.

As últimas décadas do século XX foram claramente marcadas pelo declínio do sistema de produção fordista, entre as várias alternativas que emergiram dos métodos tradicionais de produção, como mostrou em Fujimoto *et al.* (1997), a atenção de gerentes e pesquisadores, em todo o mundo, logo se concentrou em novos modelos de produção baseados em técnicas como *Just in time* (JIT) e controle total da qualidade (TQC), denominado de Classe Mundial ou *Lean / Flexible Production* ou Sistema Toyota de Produção (PANIZZOLO *et al.*, 2012).

Destacando a importância do controle do WIP, Bhamu e Sangwang (2016) discorreram que Heijunka e Kanban são ferramentas eficazes para manter a estabilidade e o controle do estoque de WIP. Visto que o Heijunka é usado para nivelar a liberação de Kanbans para a produção, cujo objetivo é o de alcançar um programa de produção uniforme, reduzindo ou eliminando o efeito chicote. Dessa forma, é possível manter um fluxo contínuo de peça única para manter baixo o estoque de WIP.

### **2.1.2. Trabalho Padrão**

A padronização e a racionalização insuficientes criam desperdícios, inconsistência e despropósito (muda, mura e muri) sejam nos procedimentos ou nas horas de trabalho, tais fatores ocasionar a fabricação de produtos com defeitos (Ohno, 1997). Ainda na linha do Trabalho Padrão, Womack e Jones (1996) descreveram que, para fazer um sistema de fluxo contínuo funcionar, as organizações têm de trabalhar arduamente na forma de pensar de seus gestores e empregados, pois certos conceitos e vícios estão incorporados em suas mentes. Como tudo está diretamente ligado, sem estoques de contingências, é necessário que todos pensem na execução de um trabalho padrão, na melhor maneira de executá-lo dentro do tempo disponível e como fazer corretamente na primeira vez e todas as vezes. O trabalho padrão é uma descrição exata de cada atividade, a especificação do tempo de ciclo e de *takt time*, a sequência das atividades específicas e o estoque mínimo de peças necessários para conduzir a atividade.

Segundo Monden (2012), para se obter uma maior flexibilidade na produção, é necessário eliminar os desperdícios sem aumentar os custos de produção. Operação-padrão visa incrementar a eficiência humana, o balanceamento de linha e a

minimização do trabalho a ser executado. Pelo menos, em parte, a eficiência da mão de obra se deve ao *layout* estabelecido para a produção, no entanto, é preciso focar também na busca contínua por formas mais eficientes de realizar o trabalho. Da mesma forma, Detty e Yingling (2000) relataram que o trabalho padronizado define explicitamente a melhor prática atual (mão de obra e esforço mínimos, a mais alta qualidade e a mais alta segurança) na execução de cada tarefa e a comunicação na estação de trabalho, dado que os colaboradores de chão de fábrica ajudam a produzir essa especificidade e procuram melhorá-las constantemente. Trata-se, portanto, de uma referência para melhoria, mas nunca deveria ser usada como uma ferramenta de classificação de desempenho individual.

O processo que a Toyota utiliza para desenvolver seus produtos evidencia que um alto grau de padronização realmente dá às equipes de programa um grau elevado de flexibilidade e permitem velocidade, execução precisa, melhor qualidade através de confiabilidade robusta, bem como previsibilidade do sistema e eliminação de desperdício que reduz custos. A padronização associada a uma cultura de disciplina é a arma mais eficaz que uma organização pode utilizar para a produção ser estabilizada e seus resultados diminuir, de forma significativa, os impactos em toda a sequência de fabricação ao desenvolver seu produto (MORGAN; LIKER, 2006).

Imai (2007) comenta que o estabelecimento de padrões a serem seguidos traz consistência e estabilidade nos resultados, tais padrões reafirmam a melhor forma de se produzir um item. A melhoria contínua é possível padronizando as instruções de trabalho e criando processos estáveis com técnicas de estudo de tempo e padronização de trabalho. Na mesma linha de pensamento, Abdulmalek *et al.* (2007) destacaram a padronização garante que cada trabalho seja organizado e realizado de maneira consistente e eficaz. Com base no mesmo conceito, Belhadi *et al.* (2016) incluíram o trabalho padrão como ferramenta importante na fase de implementação da manufatura enxuta em um trabalho relativo em pequenas e médias empresas.

### **2.1.3. Manutenção Produtiva Total (TPM)**

Segundo Ohno (1997), os expressivos resultados obtidos pela Toyota foram decorrentes da implementação da TPM. A equipe de produção deve ter habilidades cruzadas em todas as tarefas, consoante a Womack e Jones (1996), que exemplificam: no caso de alguém estar ausente ou ser requisitado para outra tarefa,

ou ainda a necessidade de intervenções menores no maquinário, é imprescindível o desenvolvimento da matriz de habilidades em que é possível que intervenções menores e habituais sejam feitas pelos próprios operadores, conforme prescrito em procedimentos, além de ajudar a manter o estado de prontidão das máquinas e dos equipamentos para realizarem as atividades de produção previstas.

Já Davies e Greenough (2001) relatam que a manutenção se tornou uma item de gestão, com a seu posto de contribuinte para o lucro. Dessa maneira, reforçaram a ideia de que o bom resultado obtido pela manutenção, traduzido em horas produtivas sem interrupções imprevistas, deve estar alinhado ao plano estratégico geral da organização e, por conseguinte, aos planos de produção da empresa. Da mesma forma, Imai (2007) ressaltou que a estabilidade de um processo pode ser mantida se a organização dispuser de um forte e bem planejado programa de 5S e TPM.

O processo de manutenção compartilha custos operacionais significativos em uma organização e o pensamento enxuto pode ser incorporado nas atividades de manutenção por intermédio da aplicação de seus princípios, práticas e ferramentas. Assim sendo, a TPM é um pré-requisito para sistemas de manufatura enxuta (MOSTAFA *et al.*, 2013).

#### **2.1.4 Mapeamento de Valor (VSM)**

A ferramenta de mapeamento do fluxo de produção é uma arma poderosa na identificação de oportunidades de melhoria tanto no que diz respeito às atividades em si quanto à questão dos inventários *Work in Progress* (WIP) totalmente alinhado com o princípio de busca e minimização ou eliminação de atividades que não agregam valor (ROTHER; SHOOK, 2009).

Segundo Womack e Jones (1996), o valor é uma característica que varia de cliente para cliente, chegando a ser tratado como requisito em certos casos. A obtenção desse produto ou serviço, focado no valor que é reconhecido pelo cliente, determina a maneira como se darão as atividades nos processos de produção, nesse caso, pode-se falar em produto único ou família de produtos.

Ao fazer mapeamento de um fluxo que represente valor, são apontadas as áreas em que são possíveis implementar melhorias com o intuito maior de eliminação de desperdícios (PAVNASKAR *et al.*, 2003).

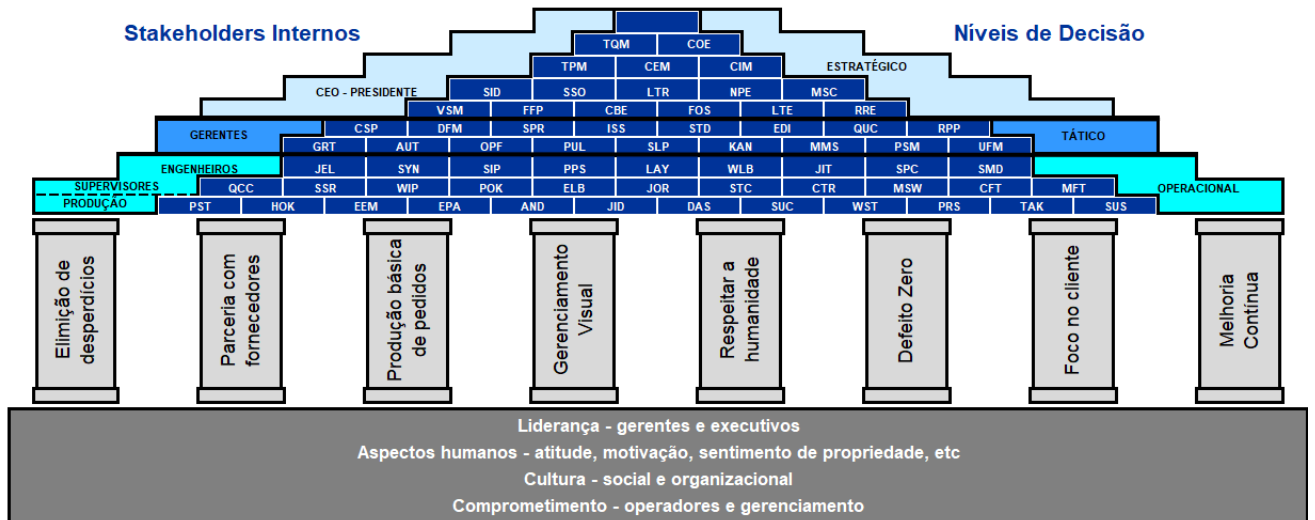
O mapeamento de processos dá suporte à transição do sistema de produção para a manufatura enxuta objetivando a eliminação dos desperdícios, quer sejam na forma de inventários ou na otimização de processos (COTTYN *et al.*, 2011; BELHADI *et al.*, 2016).

## **2.2 Estruturas de Implementação**

A pesquisa na literatura existente, com o foco nas estruturas para implementação da manufatura enxuta, mostrou diversos autores tratando do tema e cada qual com uma forma de abordagem, alguns de forma mais detalhada e outros mais generalistas, alguns utilizaram diagramas ou representações gráficas para discutir e elencar os pontos relevantes de uma implementação enquanto outros se limitaram a descrever em forma de texto descritivo (ANAND; KODALI, 2010).

Anand e Kodali (2010) desenvolveram uma estrutura conceitual bastante complexa em que incluíram sessenta e cinco elementos presentes nas práticas de manufatura enxuta, entre ferramentas, técnicas e processos, relacionando os interessados no processo de implementação internos à organização e os respectivos níveis de decisão, conforme FIGURA 3. A aplicabilidade em uma organização tipo ETO não utilizaria a totalidade das indicações pautadas nessa estrutura.

Figura 3 – Estrutura para implementação da manufatura enxuta



Fonte: adaptado de Anand e Kodali (2010).

Onde se lê:

Sigla	Definição
PST	Ferramentas para solução de problemas
HOK	"House Keeping", programa 5S
EEM	Empoderamento dos colaboradores
EPR	Participação dos colaboradores
AND	Andon, Sistema Luminoso de alerta
JID	Jidoka, autonomia
DAS	Auto inspeção
SUC	Controle sucessivo
WST	Trabalho padrão
PRS	Compartilhamento de processo
TAK	Takt time
SUS	Plano de sugestões
MFT	Treinamento multifuncional
CFT	Times multifuncionais
MSW	Trabalho multitarefas
CTR	Tempo de ciclo e redução do tempo de entrega
STC	Containers padronizados
JOR	"Job Rotation" ou flexibilidade de trabalho

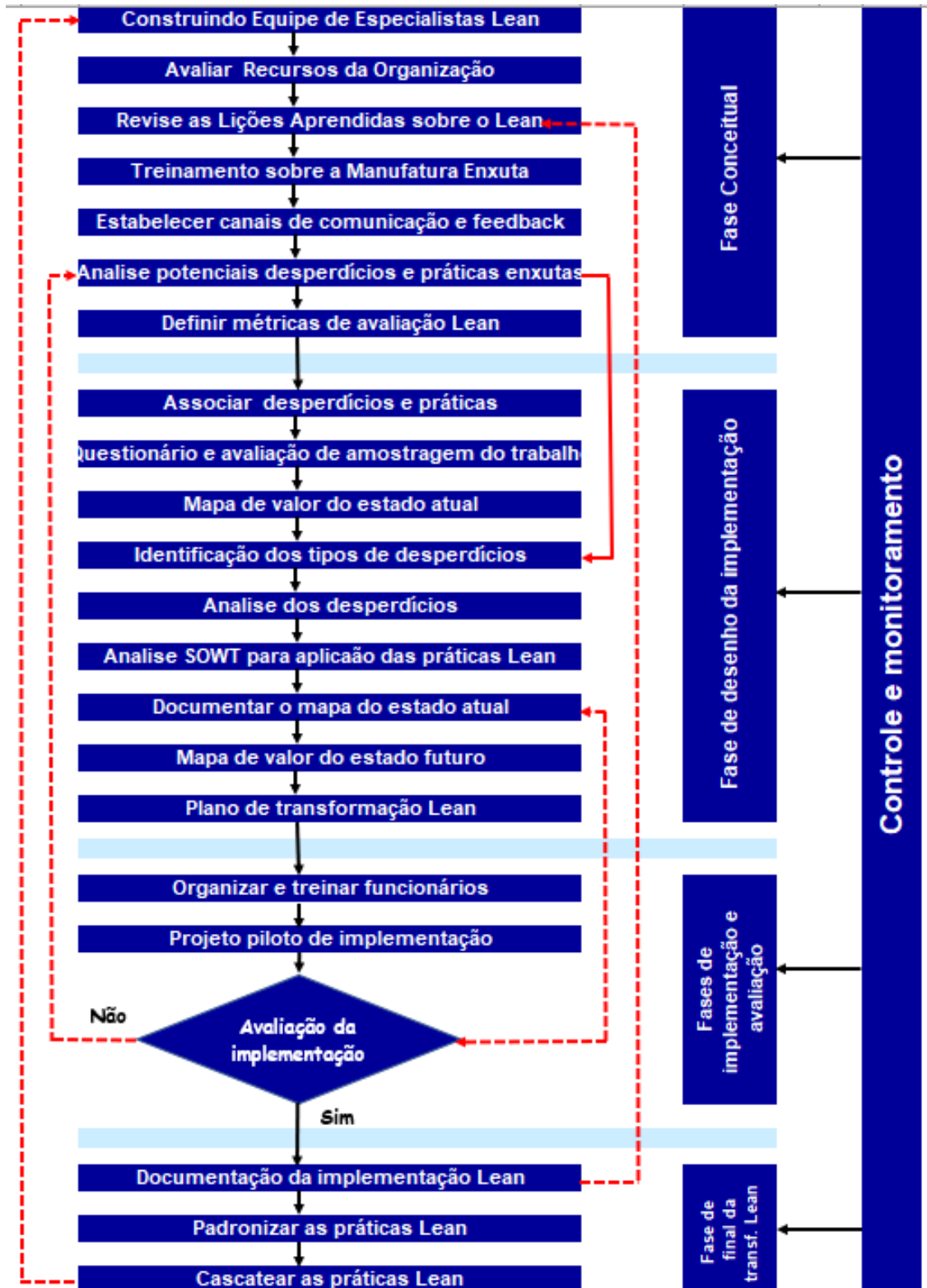
Sigla	Definição
ELB	Eliminação de "buffers"
POK	Pokayoke ou prevenção de defeitos
WIP	Redução do inventário em processo
SSR	Redução da área de armazenamento
QCC	Círculos da qualidade
JEL	Aumento da abrangência de trabalho
SYN	Sincronização
SIP	Programas de melhoria da segurança
PPS	Simplificação de produtos e processos
LAY	Mudança de layout, células
WLB	Balanceamento das linhas de produção
JIT	"Just in time"
SPC	Controle estatístico de processos
SMD	"Single minute Exchange of dies"
UFM	Utilização de máquinas flexíveis
PSM	Nivelamento suave de produção
MMS	Modelo de planejamento mixado
KAN	"Kanban system"

Sigla	Definição	Sigla	Definição
SLP	Lote pequeno de produção	RRE	Reconhecimento e premiação
PUL	Produção puxada	SID	Envolvimento do fornecedor no desenvolvimento do projeto
OPF	Uma peça por vez	SSO	Redução na matriz de fornecedores
AUT	Automação	LTR	Relacionamento de longo prazo com fornecedores
GRT	Tecnologia de grupo	NPE	Processos, equipamentos e tecnologias novas
CSP	Padronização de peças	CEM	Manufatura celular
DFM	"Design for manufacturing"	TPM	Manutenção produtiva total
SPR	Proximidade com o fornecedor	TQM	Gerenciamento total da qualidade
ISS	Compartilhamento de informações com fornecedores	CIM	Manufatura integrada por computador
STD	Treinamento e desenvolvimento de fornecedores	MSC	Manutenção de peças de reposição
EDI	Utilização de interface digital com fornecedores	COE	Engenharia simultânea
QUC	Certificação de qualidade		
RPP	Plano de produção master		
VSM	"Value stream mapping"		
FFP	Foco na produção		
CBE	Comunicação entre colaboradores		
FOS	Estrutura organizacional "flat"		
LTE	Plano de longo prazo para colaboradores		

Alguns autores optaram por retratar o *framework* para implementação em formatação de projeto, os quais foram divididos em fases e cada uma delas com o nível de detalhamento necessário incluindo ferramentas e técnicas aplicáveis, conforme FIGURAS 4 e 5 a seguir (MOSTAFA; DUMRAK; SOLTAN, 2013).



Figura 4 – Estrutura para implementação da produção enxuta



Fonte: adaptado de Mostafa *et al.* (2013).

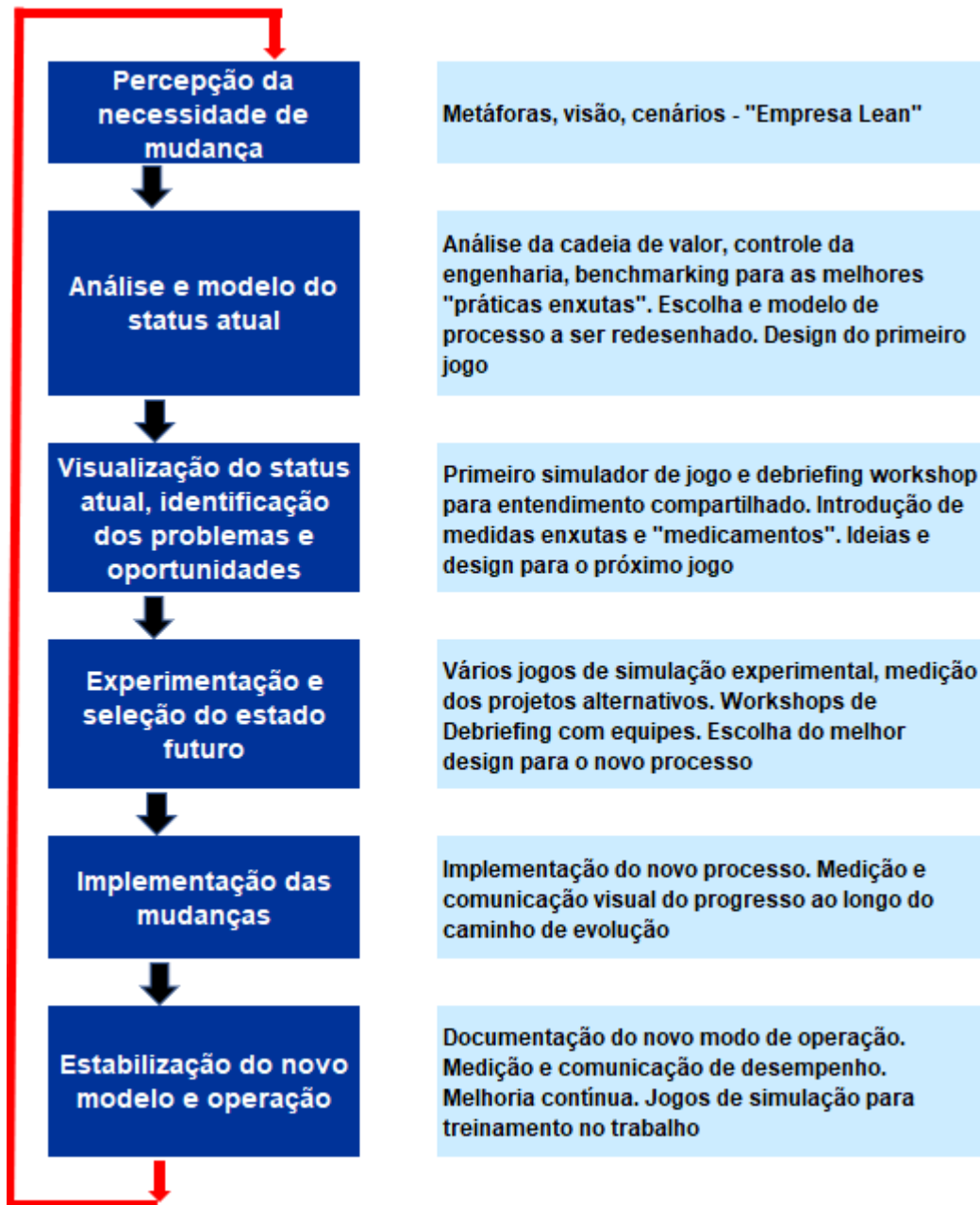
Figura 5 – Ferramentas utilizadas para implementação da produção enxuta



Fonte: adaptado de Mostafa *et al.* (2013).

Uma estrutura genérica para o gerenciamento de mudanças em direção a empresas enxutas foi proposta por Smeds (1994), que consiste em cinco fases, como análise e modelo do estado atual, identificação de problemas e oportunidades, experimentação e seleção do estado futuro, implementação da mudança e estabilização do novo modo de operação, vide FIGURA 6.

Figura 6 – Estrutura genérica para gerenciamento da implantação de manufatura enxuta

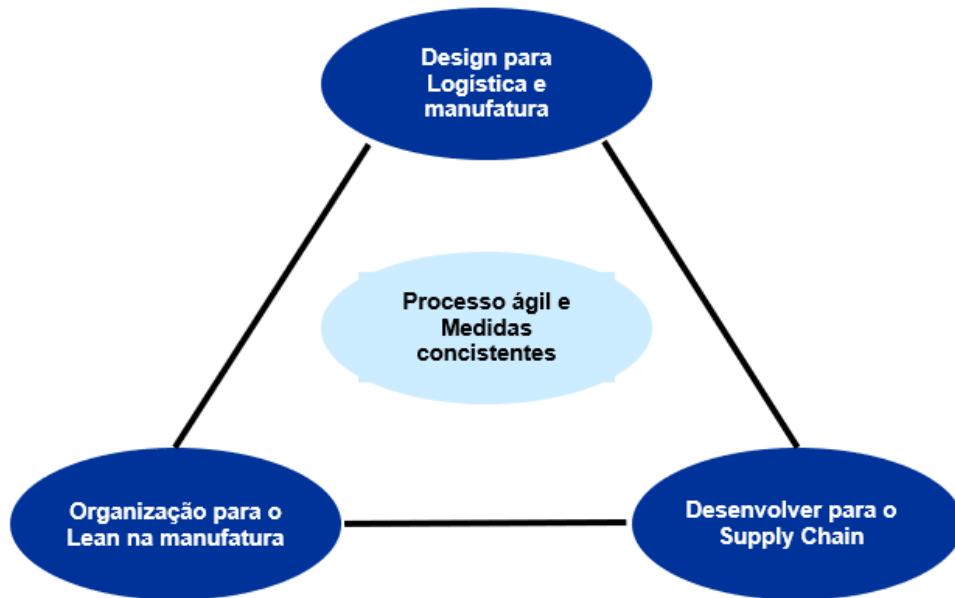


Fonte: adaptado de Smeds (1994).

Por intermédio de um diagrama descritivo no qual mencionam os componentes necessários para aplicação dos princípios da manufatura enxuta, Jina *et al.* (1997) mostram como adequar tais princípios à alta variedade de situações com baixos volumes. Tal diagrama, evidenciado na FIGURA 7, possui três componentes inter-relacionados: design de produto voltado para logística e manufatura, organização

de manufatura ao longo de princípios de manufatura enxuta e relacionamentos integradores com fornecedores.

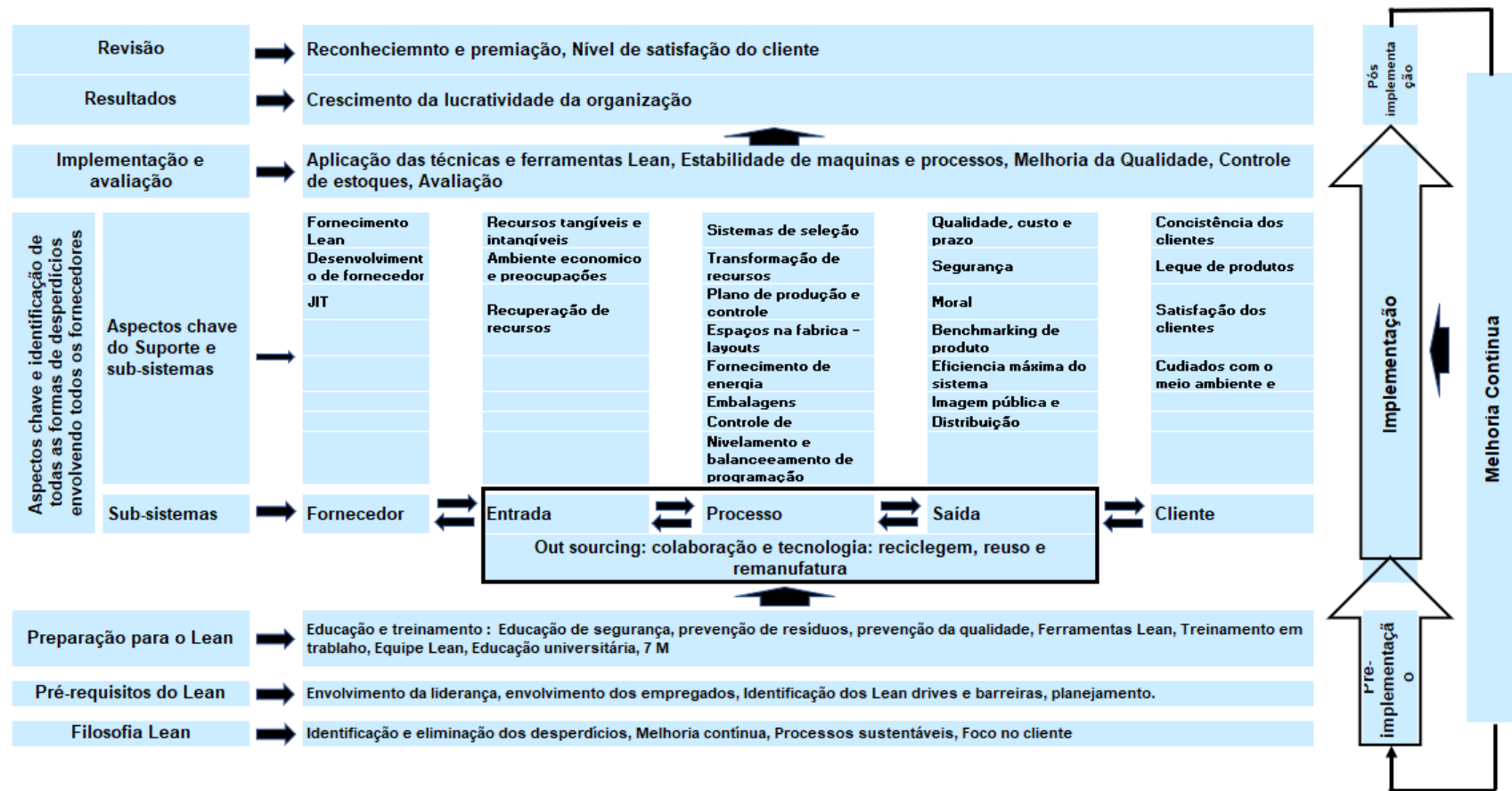
Figura 7 – Componentes necessários para aplicação dos princípios da manufatura enxuta



Fonte: adaptado de Jina *et al.* (1997).

Uma proposta de fácil compreensão, que trata passo a passo a ser seguido na implementação da manufatura enxuta, é dividida em três grandes fases: pré-implementação, implementação e pós-implementação em que são identificados os marcos críticos para serem avaliados e com uma abrangência de toda a cadeia de suprimentos. Caso analisarmos sob a perspectiva do eixo horizontal e quanto à visão vertical, o processo iniciado com o estabelecimento da filosofia da manufatura e chegam a avaliação e o reconhecimento pelos resultados obtidos, o framework desenvolvido por Bhamu e Sangwang (2016) e mostrado na FIGURA 8.

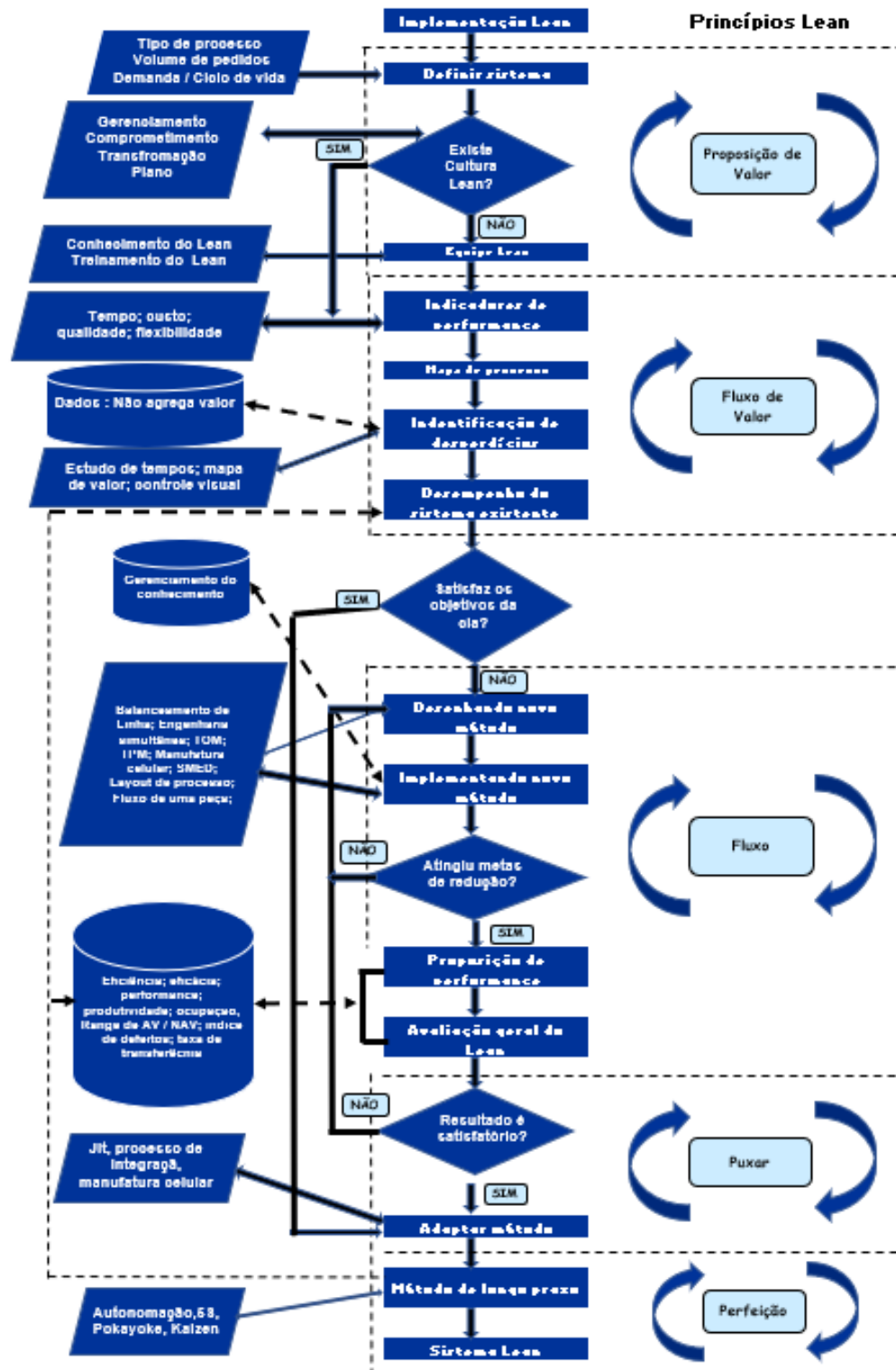
Figura 8 – Estrutura para implementação da manufatura enxuta



Fonte: adaptado de Bhamu e Sangwang (2016).

Esta é uma metodologia para implementação pautada nos cinco princípios básicos da manufatura enxuta, conforme FIGURA 9 (KARIM; ZAMAN, 2013; POWELL *et al.*, 2013).

Figura 9 – Estrutura para implementação da manufatura enxuta



Fonte: adaptado de Karim e Zaman (2013).

Baseando-se em oito princípios da manufatura enxuta, Åhlström (1998) desenvolveu uma estrutura, FIGURA 10, para sequenciar a implementação dela:

eliminação de desperdício, zero defeitos, programação escalonada, equipes multifuncionais, gestão do tempo, líderes de equipe, sistemas de informações verticais e melhoria contínua.

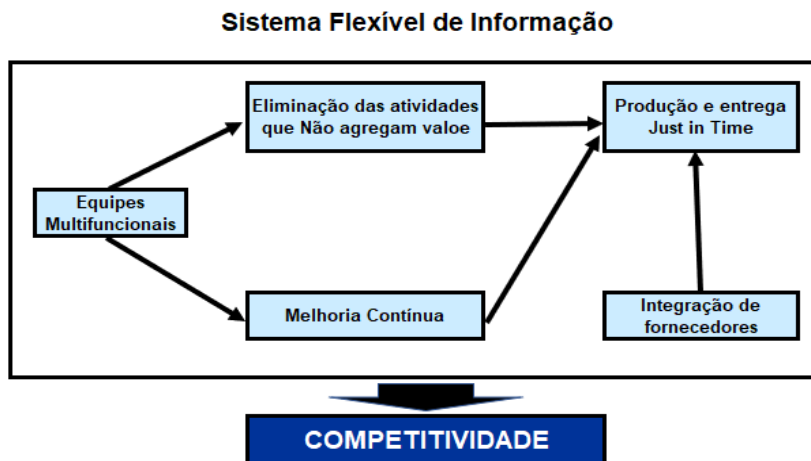
Figura 10 – Estrutura para implementação da manufatura enxuta



Fonte: adaptado de Åhlström (1998).

Sánchez e Pérez (2001) apresentam um *checklist* de avaliação da produção enxuta em seis grupos, fornecendo trinta e seis indicadores para avaliar as mudanças na fabricação de acordo com os princípios básicos, conforme FIGURA 11.

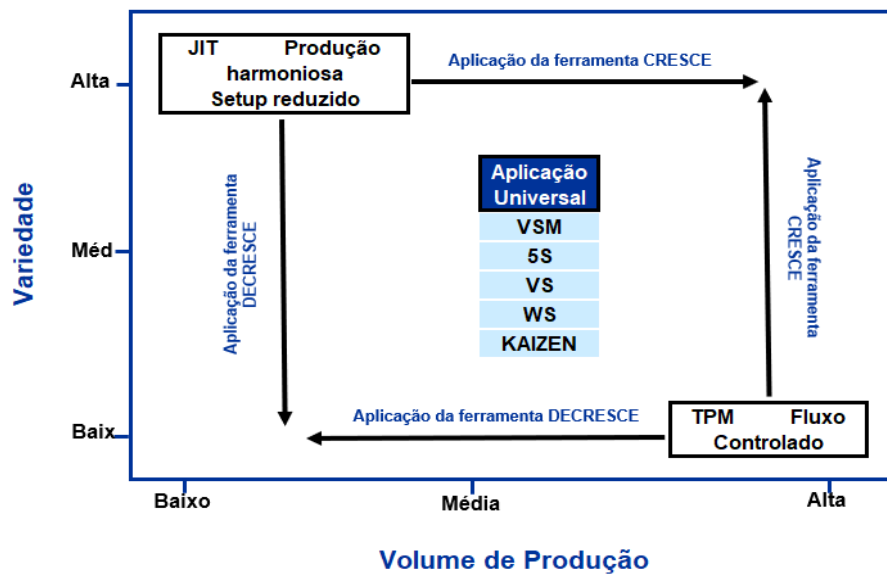
Figura 11 – Modelo de produção enxuta



Fonte: adaptado de Sanchez e Perez (2001).

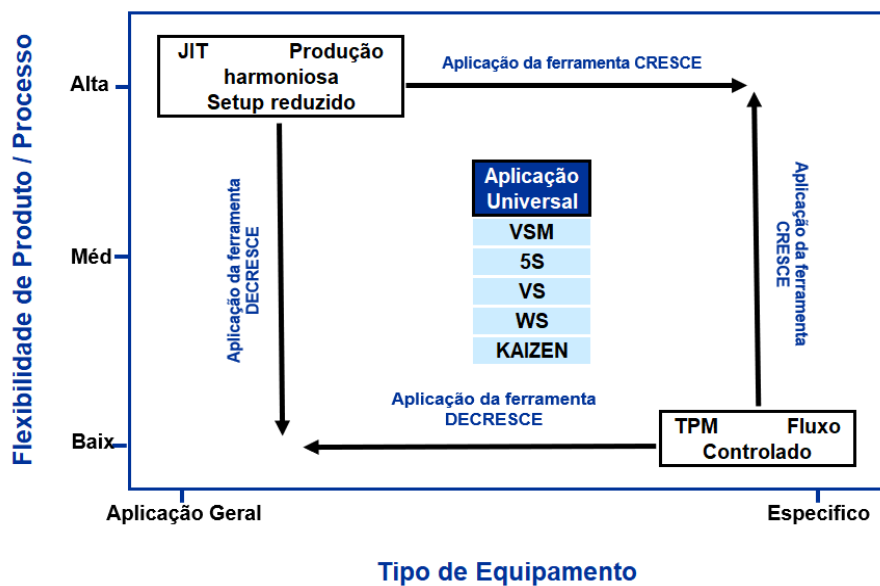
Ao analisar, especificamente, as indústrias de processos, Abdulmalek *et al.* (2007) buscaram um entendimento acerca do direcionamento e da aplicação de técnicas e práticas utilizadas nos sistemas de manufatura enxuta e que pudessem ser utilizados nas indústrias de processos, em conformidade com as FIGURAS 12 e 13.

Figura 12 – Guia geral para aplicação das ferramentas utilizadas na manufatura enxuta em Indústrias de Processo: Função Característica do Produto



Fonte: adaptado de Abdulmalek *et al.* (2007).

Figura 13 – Guia geral para aplicação das ferramentas utilizadas na manufatura enxuta em Indústrias de Processo: Função Fluxo do Material

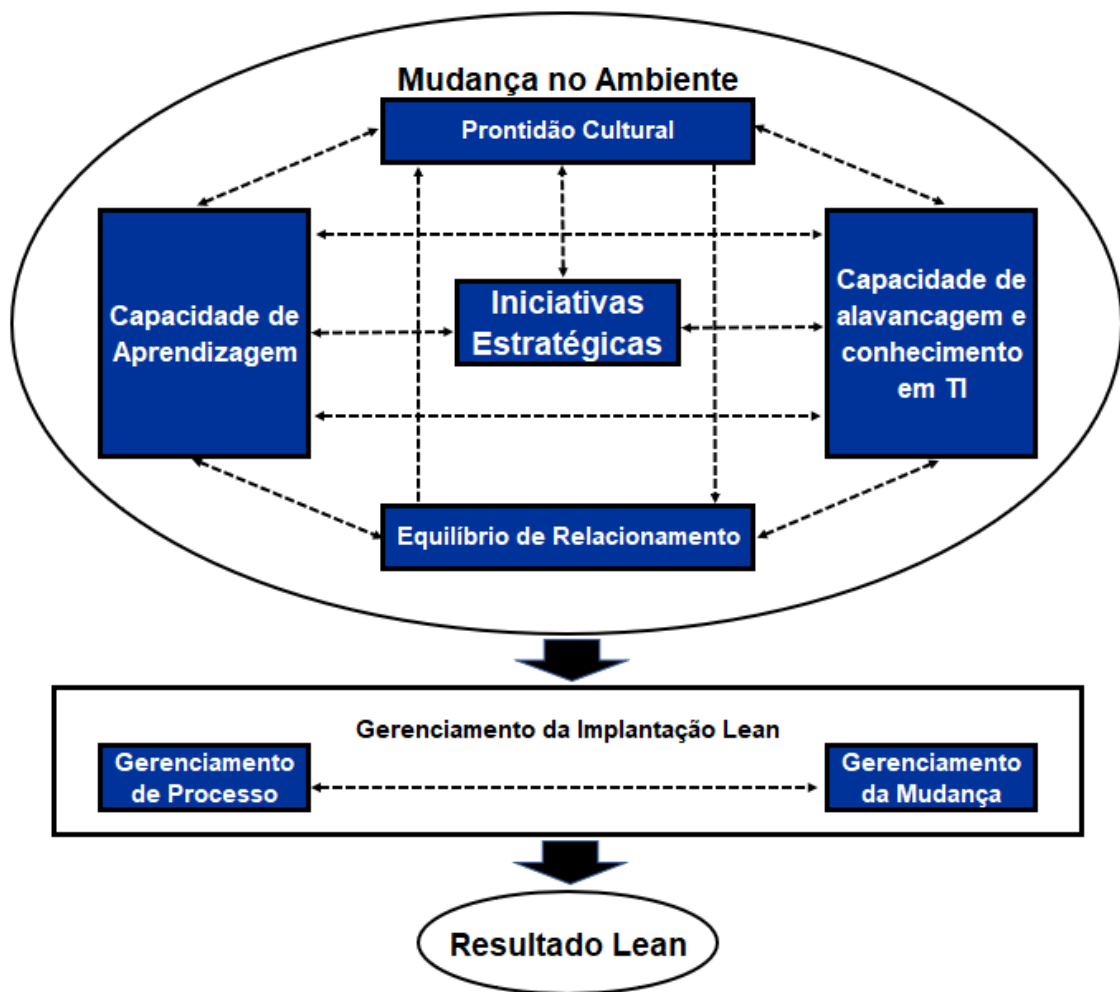


Fonte: adaptado de Abdulmalek *et al.* (2007).



O desenvolvimento de uma estrutura teórica, baseada na mudança do processo de negócios de fácil entendimento quanto à transição desta mudança, é apresentado por Motwani (2003) o qual se mostra, porém, muito genérico e pouco preciso no que diz respeito às técnicas e às ferramentas de manufatura enxuta a serem utilizadas, em conformidade com a FIGURA 14.

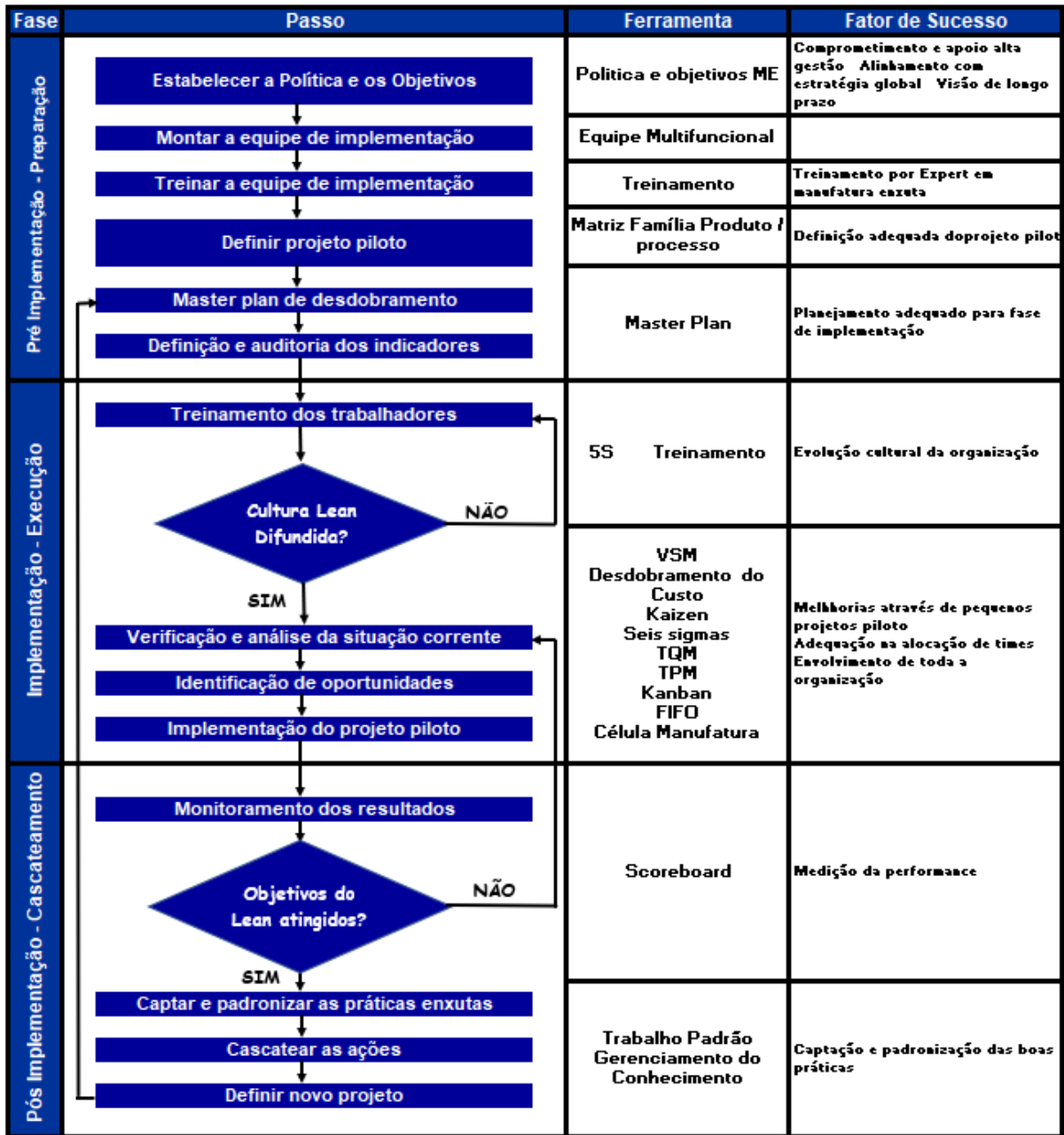
Figura 14 – Estrutura teórica para implementação da manufatura enxuta



Fonte: adaptado de Motwani (2003).

Para atender às pequenas e médias empresas, Belhadi *et al.* (2016) desenvolveram um *framework* para implementação da manufatura enxuta reunindo um conjunto de elementos mais essenciais e críticos da implementação enxuta mais aplicável às PMEs, comprovando suas sugestões através de estudos de casos bem-sucedidos, exposto na FIGURA 15.

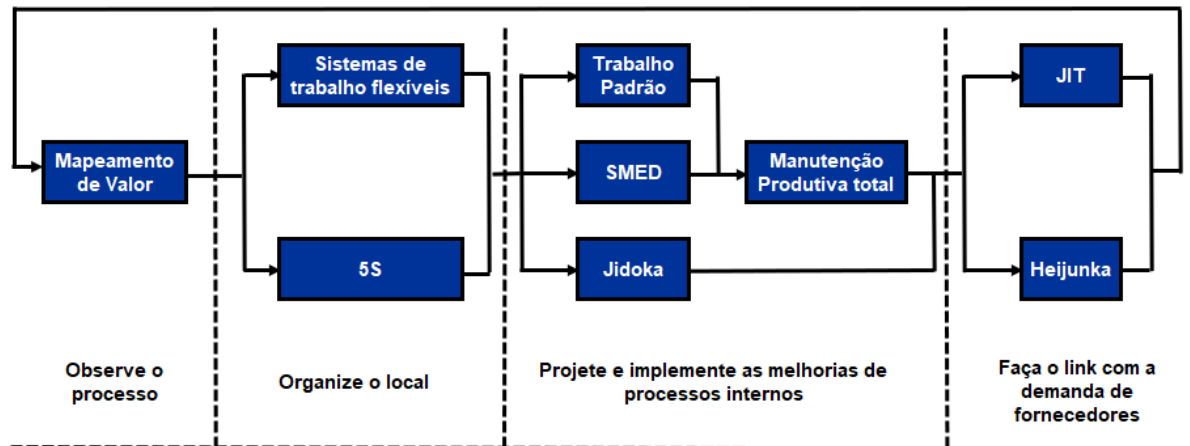
Figura 15 – Estrutura para implementação da manufatura enxuta em PMEs



Fonte: adaptado de Belhadi *et al.* (2016).

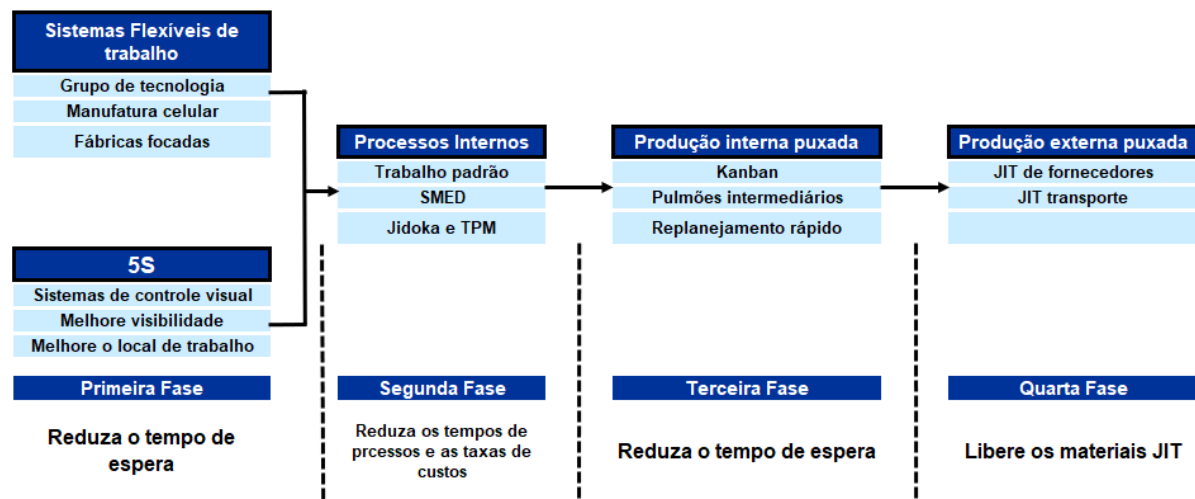
Uma estrutura lógica de fácil entendimento, para a implementação da manufatura enxuta, a definir sua implementação, em quatro fases, tendo como foco principal o investimento necessário, foi apresentada por Rivera e Chen (2007) nas FIGURAS 16 e 17.

Figura 16 – Processo típico para implementação enxuta



Fonte: adaptado de Rivera e Chen (2007).

Figura 17 – Processo de implementação enxuta em fases



Fonte: adaptado de Rivera e Chen (2007).

### 2.3 Pré-Requisitos

Este trabalho considera como pré-requisitos as ferramentas e as técnicas que são consagradas pela utilização e prática pelas organizações, sem as quais os resultados e a sustentabilidade deles não haveria e, portanto, tornam-se fatores críticos para o sucesso. No entanto, a aplicação desses pré-requisitos no ambiente ETO envolve detalhes específicos que são as contribuições deste estudo.

O fator crítico de sucesso (CSF) é um termo de gerenciamento necessário para que uma organização atinja sua missão. O termo foi, inicialmente, usado no ambiente da análise de dados e de negócios. Fatores críticos de sucesso não devem ser confundidos com critérios de sucesso, pois, na verdade, estes são os resultados de um

projeto ou de realizações de uma organização necessários para considerá-lo como sendo bem-sucedido. Os critérios de sucesso são definidos com os objetivos e podem ser quantificados pelos principais indicadores de desempenho (KPIs) (DANIEL, 1961).

Há um problema em definir sucesso apenas como a concretização do prazo programado. Em consonância com o orçamento e com o nível de qualidade desejado é que esses indicadores constituem apenas uma definição interna de sucesso, ou seja, da organização executora (KERZNER, 2002). O cliente final precisa participar, de alguma forma, da definição de sucesso e, para tanto, há que se definir que os indicadores tradicionais sejam tratados como fatores primários e acrescentar os fatores secundários como: aceitação pelo cliente e uma concordância dele para que seu nome seja utilizado como referência (KERZNER, 2002).

### 2.3.1 Programa 5S

Os cinco S tratam-se de termos-chave que iniciam com a letra S e são utilizados para criar um local de trabalho adequado para controle visual e produção enxuta. *Seiri*: separar as ferramentas, partes e instruções necessárias dos materiais desnecessários e remover os últimos. *Seiton*: organizar e identificar peças e ferramentas para facilidade de uso. *Seiso*: conduzir uma campanha de limpeza. *Seiketsu*: conduzir *seiri*, *seito* e *seiso* em intervalos frequentes, na verdade, diários, com o propósito de manter o local de trabalho em perfeitas condições. E, por fim, *shitsuke*: formar o hábito de seguir, continuamente, os primeiros quatro S (WOMACK; JONES, 1996).

A estabilidade de um processo pode ser mantida usando 5S e TPM. O desenvolvimento de padrões operacionais demonstra a melhor e mais segura maneira de realizar um trabalho conforme observado por Imai (2007).

Como afetam diretamente a questão cultural e disciplinar, o programa 5S é a primeira prática efetiva na implementação da manufatura enxuta e deve ser aplicado e gerido de forma intensa e vigorosa. É qualificado por vários pesquisadores como o requisitante de poucos recursos, por seu princípio e filosofia, de fácil implementação, no entanto, não se pode dizer o mesmo sobre sua manutenção, tornando a iniciativa mais benéfica durante uma jornada enxuta (LEE, 2004).

Os benefícios do programa 5S também podem ser observados no setor de processos segundo Abdulmalek *et al.* (2007), mas, em geral, o volume de literatura

descrevendo aplicações no setor discreto supera largamente as aplicações no setor de processo.

A equipe de implementação da manufatura enxuta precisa ensinar os colaboradores e treiná-los em práticas e ferramentas enxutas, a fim de obter a força de trabalho familiarizada com a filosofia enxuta e prepará-los para a mudança. Depois, as equipes são orientadas para o chão de fábrica, com o propósito de construir o senso de propriedade e responsabilidade necessárias para a melhoria. O 5S é a melhor ferramenta para iniciar o processo, no final desse primeiro passo, uma mudança cultural de pessoas deve ocorrer (BELHADI *et al.*, 2016).

### **2.3.2 Qualidade Total**

A implantação da função de qualidade (QFD) e da Gestão da Qualidade Total (TQM), entre outras, é de suma importância para uma melhoria específica do produto. O QFD tem um apelo visual de conexão que ajuda as equipes a se concentrarem nas necessidades dos clientes desde a fase de desenvolvimento (AKAO; MAZUR, 2003; CHAN; WU, 2002).

A aplicabilidade do sistema Jidoka é destacada por Bhamu e Sangwang (2016) em função de prover os produtos de um bom nível de qualidade realçando a importância da iteração máquina e homem.

### **2.3.3 Melhoria Contínua**

A melhoria chamada contínua é uma ferramenta imprescindível em um processo, conforme citam Adams *et al.* (1999). Esses estudiosos apresentam, em artigo, uma ferramenta de simulação de apoio ao mencionado processo. Constam no artigo uma descrição das ferramentas de manufatura enxuta, as etapas que conduzem ao processo e dois estudos de caso em que a simulação foi utilizada na forma de melhoria continuada.

Knuf (2000) destaca que é importante mensurar o quanto se traduz em resultados as aplicações da melhoria contínua e como se comporta em termos de sustentabilidade deles.

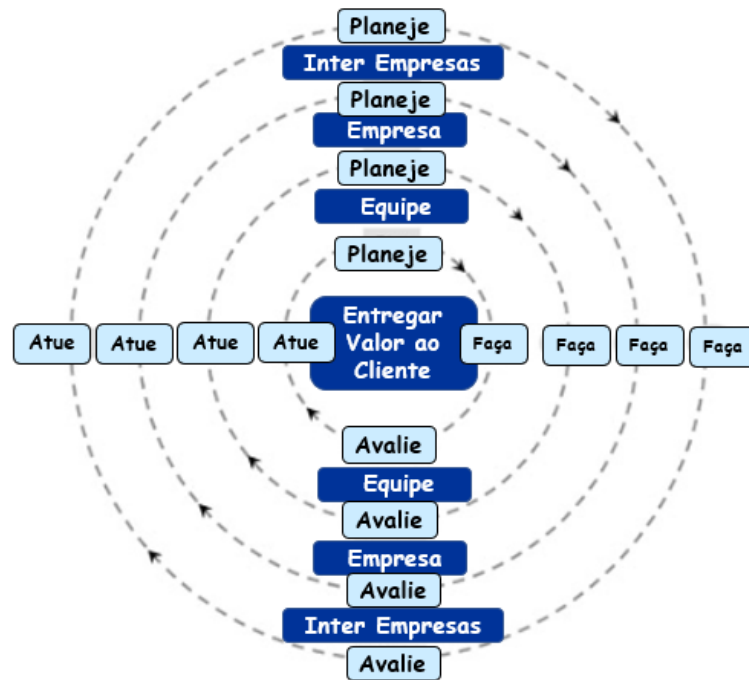
As atividades do círculo Kaizen (KCA) e o treinamento prático Kaizen (PKT) são atividades de envolvimento efetivas e comprovadas. Essas atividades, de acordo

com Bhamu e Sangwang (2016), aumentam a confiança dos colaboradores para enfrentar os desafios futuros, fortalecem a capacidade daqueles de trabalhar em equipe, oferecem oportunidades para exibir habilidades de liderança e permitem resolver problemas logicamente. Ainda, segundo os autores, a melhoria contínua envolve uma longa jornada, desenvolvendo gradualmente habilidades e capacidades dentro da organização para encontrar os novos problemas e desperdícios no sistema e resolvê-los com a ajuda de diferentes ferramentas e técnicas.

A capacidade de aprender e melhorar continuamente pode ser mais poderosa do sistema de desenvolvimento de produtos e dentro dessa estrutura o conhecimento tácito, *know-how*, o mais potente, é o conhecimento mais difícil de promover e gerenciar, não há atalhos ou soluções de TI, por exemplo. A transferência e a aplicação do conhecimento tácito exigem laços estreitos, um grande investimento de tempo e uma orientação bem estruturada por meio de treinamento estratégico presencial no qual acontecem os fatos. Na Toyota, o aprendizado tácito não é uma atividade adicional ou extracurricular, é o currículo básico aprendido através de *mentoring*, ciclos de PDCA, excelência em solução de problemas e outras experiências, todas focadas na melhoria (MORGAN; LIKER, 2006).

O PDCA, geralmente, aplica-se a processos de trabalho bastante detalhados. a FIGURA 18 sugere que uma empresa de aprendizagem está continuamente usando o PDCA em todos os níveis da empresa, do projeto para o grupo, para a empresa e, por fim, para todas as empresas (LIKER, 2004).

Figura 18 – O ciclo de Deming em todos os níveis da empresa



Fonte: adaptado de LIKER (2004).

#### 2.3.4. Compromisso, Participação e Apoio da Alta Gestão

Womack e Jones (1996) destacaram que um líder competente e inspirador é necessário para realizar os desdobramentos da estratégia da empresa com eficácia e uma empresa precisa de três tipos de líderes para se transformar em uma organização enxuta:

- ✓ Que esteja comprometido com o negócio a longo prazo e possa ser a âncora proporcionando estabilidade e continuidade – um trabalhador experiente com maior histórico na empresa;
- ✓ Com profundo conhecimento sobre técnicas enxutas – especialista em manufatura enxuta;
- ✓ Que seja o campeão e lute contra as barreiras organizacionais, como resultado das mudanças nas operações organizacionais – campeão manufatura enxuta.

O fracasso, na implementação dos sistemas de produção enxuta, é impactado principalmente pelo fator humano. A adaptação à nova sistemática de trabalho bem

como a própria compreensão dela comprometem os resultados esperados (MOSTAFA *et al.*, 2013).

Nessa linha, a matéria sobre reconhecimento dos esforços e evolução individual são de extrema importância para o sucesso da implementação (GOULDNER, 1960; MURPHY, 1992; HENEMAN; HIPPEL, 1995). Os colaboradores devem ser promovidos com base em sua contribuição para o sucesso de uma organização. Qualquer atraso na promoção pode resultar em alto nível de insatisfação e um colaborador pode deixar a organização em busca de melhores oportunidades fora dela (SIEGRIST, 1996).

A força motriz, por trás da implementação da manufatura enxuta, segue a direção geral da organização e a tarefa mais importante para a gerência é apoiar e gerenciar essa transição inovadora com a maior rapidez possível (Smeds, 1994; Guha *et al.*, 1997; Motwani, 2003; Pont *et al.*, 2008; Hines *et al.*, 2008). Dale (1961) vai mais além e destaca que os altos executivos precisam demonstrar seu comprometimento por meio de ações, em vez de palavras.

Blanchard *et al.* (2001) identificaram três pontos-chaves que os gerentes devem usar para capacitar seus colaboradores: compartilhar informações com todos, identificar e criar autonomia através de limites e substituir a antiga hierarquia por equipes auto gerenciadas. Esses três pontos-chaves de empoderamento não apenas dão poder às pessoas, mas tendem a liberar o conhecimento, a experiência e a motivação dos colaboradores na implantação e na manutenção da manufatura enxuta.

É quase impossível para a administração implementar a manufatura enxuta sem o envolvimento do colaborador. A cultura organizacional é a base de todas as atividades de envolvimento. A cultura é um resultado, bem como um facilitador para operações enxutas sustentáveis e bem-sucedidas (LIKER, 2004).

Achanga *et al.* (2006) constatam, através de uma pesquisa, que a liderança e o gerenciamento dentro das PMEs é um fator crítico de sucesso na implementação da manufatura enxuta, visto que estas, se praticadas de forma efetiva, facilitarão a integração de toda a infraestrutura dentro da organização, uma vez que possuem uma visão estratégica do negócio e são agentes importantes quanto à flexibilidade da estrutura organizacional. Também destacaram que os critérios de habilidades e conhecimentos são fatores críticos na implementação da manufatura enxuta incluindo o recrutamento.



Para uma mudança organizacional ser bem-sucedida quando, se trata da implementação da manufatura enxuta, segundo Nordin *et al.* (2012), os fatores críticos são: liderança forte, equipe capacitada e comunicação eficaz. A transição para a manufatura enxuta não é um evento único, mas sim um processo constante e contínuo.

Bhamu e Sangwan (2016) relataram que se a gerência, colaboradores e fornecedores compreendem a filosofia enxuta e demonstram compromisso e, envolvimento, cria-se uma base para a implementação da manufatura enxuta e, ao mesmo tempo, elimina o ceticismo em torno de sua implementação e benefícios. Ressaltam também o processo de revisão e planejamento de desempenho deve agregar valor, identificar as barreiras organizacionais, oferecer a oportunidade de explorar as aspirações de carreira e fornecer aos colaboradores *feedback* e diálogo honesto.

Isso garante que todos os colaboradores sejam avaliados de maneira consistente com base em sua contribuição para os planos de trabalho. A satisfação dos colaboradores deve ser medida para entender suas necessidades e pontos de vista. Toda organização esforça-se para alcançar uma vantagem competitiva. Os gerentes buscam maximizar a produção da empresa, motivando os colaboradores a aumentar seu desempenho. Pessoas que trabalham excessivamente, que sofrem de estresse, normalmente, não se sentem satisfeitas a menos que sejam reconhecidas ou recompensadas por sua contribuição para a organização. Existem outros meios que não os financeiros para se recompensar os colaboradores, como reconhecimento, oferecendo a oportunidade de assumir projetos ou tarefas importantes com a devida atenção da liderança.

### **2.3.5. Gestão da Comunicação**

A comunicação aberta e o compartilhamento de informações podem promover uma cultura comum e um comportamento inovador na organização da mesma forma que o treinamento interfuncional e o movimento de pessoal dentro da organização, tais pontos concorrem para a implementação bem-sucedida da manufatura enxuta, (GUHA *et al.*, 1997).

Segundo Storch e Lim (1999), a operação efetiva da filosofia de manufatura enxuta requer comunicação clara e eficaz, sugestões tangíveis e intangíveis além de

*feedback* são algumas maneiras úteis de envolver os colaboradores no processo de implementação.

Para se desenvolver uma boa comunicação, Achangea *et al.* (2006) verificaram claramente que é altamente desejável ter algum grau de habilidades de comunicação, foco de longo prazo e equipe estratégica, enquanto se pretende implementar qualquer nova iniciativa.

A comunicação também é considerada uma questão fundamental para a implementação bem-sucedida de um sistema de manufatura enxuta, especialmente, para anunciar, explicar e preparar as pessoas para a mudança e os efeitos da mudança iminente. A falta de comunicação pode levar à má compreensão da filosofia e do conceito de manufatura enxuta e à aplicação errônea de ferramentas e técnicas enxutas e cria confusão sobre os papéis e responsabilidades do colaborador. (WORLEY; DOOLEN, 2006 e PUVANASVARAN *et al.*, 2010).

Especificamente sobre as questões do “chão de fábrica”, Scherrer-Rathje *et al.* (2009) destacaram que a comunicação do sucesso do projeto piloto de implementação de manufatura enxuta aumentou o apoio do chão de fábrica e dos gerentes para expandir a prática enxuta.

A conscientização e a motivação para buscar a eliminação dos desperdícios, compartilhar suas causas e efeitos na organização com os colaboradores e melhorar as comunicações entre todos os departamentos é a chave para o sucesso da implementação segundo Bhamu e Sangwang (2016).

### **2.3.6. Treinamento**

Boyer (1996) e Pollit (2006) afirmam ser imperioso que as organizações enfatizem e promovam programas eficazes de educação e treinamento relacionados à manufatura enxuta, bem como estabeleçam avaliações desses treinamentos para medir os impactos gerados nos resultados das organizações. A partir de uma visão estratégica e global, mas não deixando de encorajar a inovação e aprendizagem de “baixo para cima”. Tais ideias são corroboradas por Guha *et al.* (1997) e Smeds (1994).

Há uma resistência natural quando se existe a proposição de algo novo, no caso da manufatura enxuta, Baker (1998) constatou que, nos casos envolvendo gerentes, dava-se especificamente pela falta de habilidade e conhecimento das

práticas. O efetivo treinamento e capacitação, através de especialistas, ajuda a reduzir o efeito de rejeição, visto que proporciona o conhecimento necessário a todo o grupo (WOMACK; JONES, 1996; BAMBER; DALE, 2000; CRUTE *et al.*, 2003; MOHANTY *et al.*, 2007; MARVEL; STANDRIGE, 2009; ANAND; KODALI, 2010; DOMBROWSKI *et al.*, 2011; PANIZZOLO *et al.*, 2012). A busca de aprendizagem em outras empresas bem-sucedidas na implementação, de acordo com Freeman e Perez (1998), também se mostram muito positivas.

Motwani (2003) relata que a manufatura enxuta envolve mudanças e melhoria de processos. Assim, o conhecimento da variação é crítico para o conhecimento da eliminação de desperdícios. Causas comuns de variação são aquelas inerentes ao próprio sistema e, tradicionalmente, não são focos para ação de melhoria.

Causas especiais de variação são aquelas atribuíveis e podem ser tratadas pela gerência. De acordo com Deming (1986), 94% dos erros ou problemas de fabricação pertencem ao sistema e apenas os 6% restantes são especiais. A manufatura enxuta envolve o ataque ao sistema, isto é, a reengenharia de todo o processo, de modo que as causas comuns sejam muito reduzidas. O sistema então se torna mais estável com muito menos variações por causa de causas comuns (DEMING, 1986).

A manufatura enxuta representa uma cultura única que cresce e melhora com o tempo. Para a transformação para o sistema de manufatura enxuta, as pessoas devem ter um melhor entendimento sobre o sistema e também precisam estar cientes dos princípios de gerenciamento de mudanças (NORDIN *et al.*, 2012).

Mostafa *et al.* (2013), Sagwang *et al.* (2014) e Belhadi *et al.* (2016) ressaltaram que o fracasso no gerenciamento do processo de implementação enxuta, muitas vezes, ocorre por conta de uma mentalidade deficiente e uma compreensão inadequada do próprio conceito enxuto. Acreditam que a principal razão da insustentabilidade dos benefícios da produção enxuta é a compreensão incompleta do conceito “enxuta” e o propósito das práticas enxutas. Afirmam ainda que algumas empresas aplicam mal essas práticas e que, na maioria das organizações, a equipe de implementação enxuta é nova no conceito enxuto. Os membros da equipe interna deveriam ter um tempo adequado para entender completamente o conceito da manufatura enxuta.

### 2.3.7. Gestão de Indicadores

Vários autores ressaltaram a importância de criar e gerenciar indicadores com o intuito de conseguir avaliar de fato as melhorias advindas da implementação da manufatura enxuta. Karlsson & Åhlström (1996) desenvolveram um modelo operacionalizado que pode ser usado para avaliar as mudanças que ocorrem em uma organização devido à introdução da produção enxuta. Esse modelo foi desenvolvido para que os gerentes pudessem utilizá-lo como uma ferramenta para acompanhar o progresso mediante seus esforços para alcançar a produção enxuta na área de alimentos. Feld (2000), por sua vez, enfatizou a necessidade de haver uma avaliação dos resultados da implementação da manufatura enxuta em forma de um índice geral de pontuação de desempenho, não discutindo detalhamento os índices auxiliares.

Ao contrário de Feld (2000), Sanchez e Perez (2001) definem um número mínimo de indicadores em uma lista de verificação, cujo objetivo é tornar o modelo simples de usar para pequenas e médias empresas de manufatura. Alguns desses indicadores já haviam sido propostos no modelo de Karlsson & Åhlström (1996), outros foram encontrados na literatura sobre produção enxuta.

Com a ajuda de indicadores, Fullerton *et al.* (2003) encontraram uma relação positiva entre a lucratividade da empresa e a medida de implementação de práticas de produção enxuta eliminando desperdícios, também mostrado por Marvel *et al.* (2009) e Karim e Zaman (2013). Já a ausência desses indicadores ou a falta de divulgação dos progressos estimula, em algumas organizações, os colaboradores a tentarem retornar aos seus métodos anteriores à implementação (SCHERRER-RATHIE *et al.* 2009). Também Kumar e Phrommathed (2006) ressaltaram que a ausência de monitoramento e de controle na implementação pode resultar em falhas no processo de transição e o estabelecimento de sistemas, para monitorar o processo de manufatura enxuta, são decisivos para garantir a sustentabilidade do processo e resultados ao longo do tempo.

Bhasin (2008) afirmou que a implementação da manufatura enxuta traz melhorias nos parâmetros de desempenho, as quais devem ser efetivamente medidas e demonstradas. No entanto, as organizações usam medidas genéricas com pouca consideração de sua relevância para melhorias enxutas. Medidas inadequadas podem contrariar a estratégia e encorajar o tipo errado de comportamento na jornada de implementação da manufatura enxuta.

É perceptível que a empresa precisa medir o progresso que está a fazer em direção aos seus objetivos, contando com um painel de avaliação que contém KPIs enxutos identificados anteriormente (PUVANASVARAN *et al.*, 2010).

Avaliar e analisar os resultados relativos ao desempenho das organizações pós-implementação contribuem de forma decisiva no sucesso, visto que proporcionam resultados reais e correntes ajudando os responsáveis elaborar correções de rota (BEHROUZI; WONG, 2011).

Finalmente, Bhamu e Sangwang (2016) destacaram que a melhor maneira de começar um processo adequado de transição para a manufatura enxuta é o estabelecimento de metas claras e muito bem definidas, sem margem de dúvidas aos que trabalharam com o objetivo de alcançá-las. Nesse ponto também é importante frisar a participação de toda a equipe na confecção dessas metas.

### **2.3.8. Gestão do Conhecimento**

Capturar as lições aprendidas, em um estágio de implementação anterior, é significativo para um estágio subsequente. Tais aprendizados podem ser obtidos dentro ou fora de uma organização. A documentação dessas lições aprendidas são fontes importantes para manter dados, informações e conhecimentos para revisões futuras (FELD, 2000).

Os processos de aprendizagem e de melhoria contínua perdem muito em sua essência quando são tratados apenas como a solução de problemas envolvendo causa raiz e medidas de prevenção, tornam-se mais eficientes quando buscam múltiplas soluções potenciais que impedem a recorrência (WARD *et al.*, 1995).

No Sistema Toyota de Produção (STP), as questões do aprendizado e de busca da melhoria contínua são essenciais quando se trata da maneira como cada colaborador realiza seu trabalho diariamente e estes são inseparáveis da cultura Toyota. A Toyota determina metas desafiadoras para o desempenho de cada projeto e realiza eventos para a aprendizagem em tempo real e, mesmo após o término do projeto, isso estimula todos a refletir e avaliar seus próprios conhecimentos e assim atualizar seus históricos de aprendizagem (MORGAN; LIKER, 2006).

Senge (1990) afirma que a aprendizagem organizacional é a “capacidade de um grupo de pessoas de criar consistentemente os resultados que os membros deste grupo realmente desejam”. Uma outra abordagem sobre conhecimento e

aprendizagem é apresentada por Peter Drucker (1998), que enfatiza ser o futuro pertencente às "empresas baseadas no conhecimento".

Segundo David Garvin (2000), o conhecimento é geralmente visto como um ativo corporativo chave a ser aproveitado e explorado, definindo o processo em três etapas necessárias para o aprendizado organizacional: aquisição de informações, processamento de informações e aplicação.

Desde o início, a Toyota tem consistentemente trabalhado no desenvolvimento de maneiras de coletar, disseminar e aplicar o conhecimento tácito, criando uma rede de aprendizado aplicado em toda a empresa, desde o desenvolvimento do produto até a fabricação (MORGAN; LIKER, 2006).

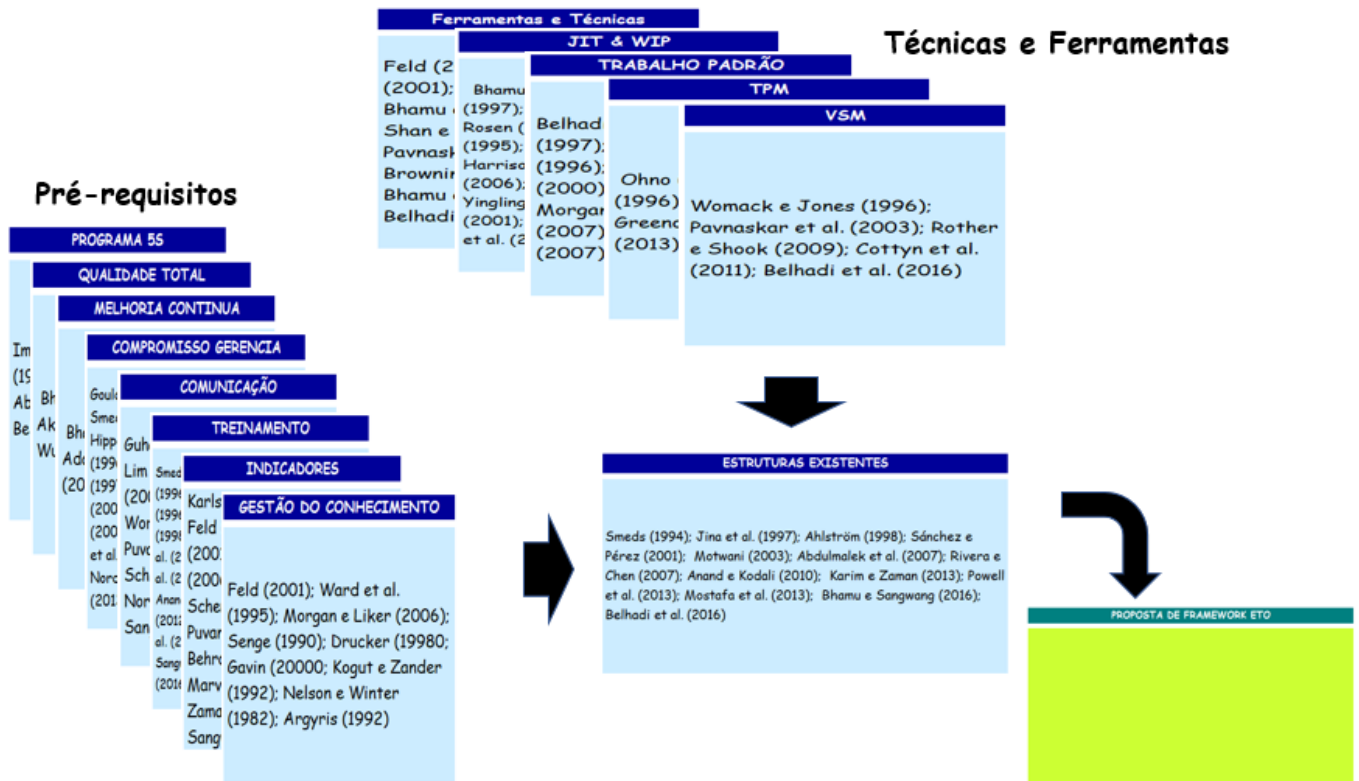
Existem estudiosos do assunto que apontam dois tipos muito diferentes de conhecimento; o primeiro é o conhecimento explícito ou informação facilmente codificada e transferida sem perda significativa de conteúdo, este tipo inclui "fatos, proposições axiomáticas e símbolos" (KOGUT; ZANDER, 1992), enquanto o segundo é conhecimento tácito, ou *know-how*, sendo este mais complexo, difícil de codificar e de transferir; requer laços profundos e relacionamento de longo prazo (NELSON; WINTER, 1982; KOGUT; ZANDER, 1992).

A certificação de que há aprendizagem requer ação, segundo o autor, não se pode dizer que a aprendizagem ocorreu sem que alguém descubra um novo problema ou crie uma nova solução para um problema, a aprendizagem ocorre de fato quando a solução efetiva é concretizada (ARGYRIS, 1992).

## **2.4 Resumo e Estrutura da Revisão Bibliográfica**

A seguir a FIGURA 19 apresenta um resumo relacionando os artigos mencionados indicando os pontos focais e seus autores.

Figura 19 – Estrutura deste trabalho



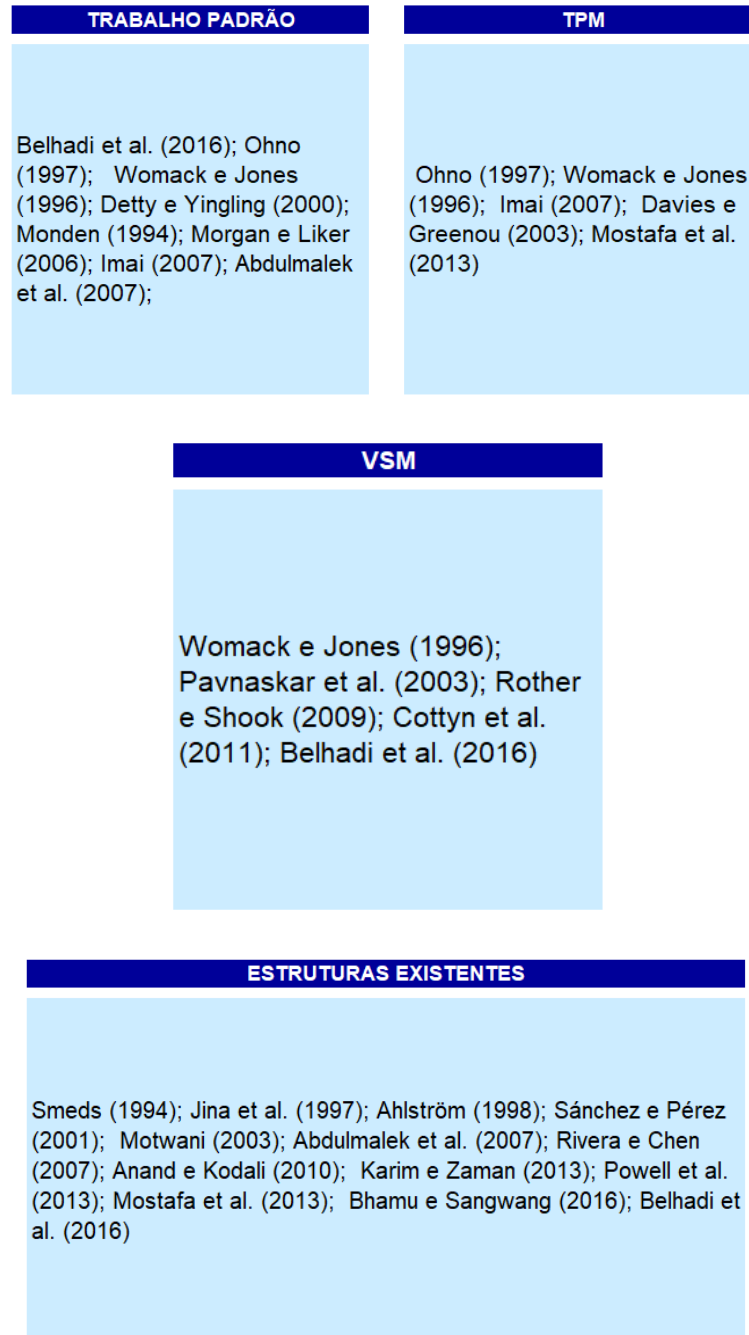
Fonte: elaborado pelo autor.

Onde se lê:

PROGRAMA 5S	QUALIDADE TOTAL
Imai (2007); Womack e Jones (1996); Lee (2004); Abdulmalek et al. (2015); Belhadi et al. (2016)	Bhamu e Sangwang (2016); Akao e Mazur (2003); Chan e Wu (2002)

<b>MELHORIA CONTÍNUA</b>	<b>COMPROMISSO GERÊNCIA</b>
<p>Bhamu e Sangwang (2016); Adams et al. (1999); Knuf (2000); Morgan e Liker (2006); Liker (2004)</p>	<p>Gouldner (1960); Murphy (1992); Smeds (1994); Heneman e Von Hippel (1995); Womack e Jones (1996); Siegrist (1996); Guha et al. (1997); Dale (1999); Blanchard et al. (2001); Motwani (2003); Liker (2004); Achanga et al. (2006); Pont et al. (2008); Hines et al. (2008); Nordin et al. (2012); Mostafa et al. (2013); Bhamu e Sangwan (2106)</p>
<b>COMUNICAÇÃO</b>	<b>TREINAMENTO</b>
<p>Guha et al. (1997); Storch e Lim (1999); Blanchard et al. (2001); Achanga et al. (2006); Worley e Doolen (2006); Puvanasvaran et al. (2010); Scherrer-Rathje et al. (2009); Nordin et al. (2012); Bhamu e Sangwang (2016)</p>	<p>Smeds (1994); Guha et al. (1997); Boyer (1996); Pollit (2006); Womack e Jones (1996); Barker (1998); Freeman e Perez (1998); Bamber e Dale (2000); Crute et al. (2003); Motwani (2003); Mohanty et al. (2007); Marvel e Standridge (2009); Anand e Kodali (2010); Dombrowski et al. (2012); Panizzolo et al. (2012); Nordin et al. (2012); Mostafa et al. (2013); Sangwang et al. (2014); Belhadi et al. (2016)</p>
<b>INDICADORES</b>	<b>GESTÃO DO CONHECIMENTO</b>
<p>Karlsson e Ahlström (1996); Feld (2000); Sanchez e Perez (2001); Kumar e Phrommathed (2006); Bhasin (2008); Scherrer-Rathje et al. (2009); Puvanasvaran et al. (2010); Behrouzi e Wong (2011); Marvel et al. (2009); Karim e Zaman (2013); Bhamu e Sangwang (2016)</p>	<p>Feld (2001); Ward et al. (1995); Morgan e Liker (2006); Senge (1990); Drucker (19980; Gavin (20000; Kogut e Zander (1992); Nelson e Winter (1982); Argyris (1992)</p>
<b>Ferramentas e Técnicas</b>	<b>JIT &amp; WIP</b>
<p>Feld (2000); Taylor e Brunt (2001); Bhamu et al., (2013); Bhamu e Sangwang (2014); Shan e Ward (2003); Pavnaskar et al. (2003); Browning e Health (2009); Bhamu e Sangwan (2011); Belhadi et al. (2016);</p>	<p>Bhamu e Sangwang (2016); Ohno (1997); Coriat (1991); Blackburn e Rosen (1993); Karlsson e Ahlström (1995); Womack e Jones (1996); Harrison e Storey (1996); Emiliani (2006); Hines (1996); Detty e Yingling (2000); Sanchez e Perez (2001); Singh et al. (2010); Panizzolo et al. (2012); Fujimoto et al. (1997);</p>





### 3. PROPOSTA DA ESTRUTURA PARA IMPLANTAÇÃO

Por meio da pesquisa e análise realizadas quanto às estruturas para implementação da manufatura enxuta, verificou-se que não há um foco específico para organizações tipo ETO, em sua maioria, tratam-se de aplicações voltadas para a indústria de produção seriada (ANAND; KODALI, 2010; MOSTAFA *et al.*, 2013; SMEDS, 1994; JINA *et al.*, 1997; BHAMU; SANGWANG, 2016; KARIM; ZAMAN,

2013; AHLSTROM, 1998; SANCHEZ; PEREZ, 2001; MOTWANI, 2003; RIVERA; CHEN, 2007). Algumas aplicações tratam da indústria de processos (ABDULMALEK *et al.*, 2006), outras, que relacionavam manufatura enxuta e organizações tipo ETO, trataram somente do Mapa de Valor (VSM) (ZHOU; ZHANG; WANG; XIAO, 2016; MATT, 2013 e MARVEL; STANDRIDGE, 2009).

Em um único caso, ainda assim por entendimento do contexto, pode-se entender tratar de uma indústria por projeto, mas que foi classificada e comportada com o foco em Pequena e Médias Empresa (PME) (ACHANGA *et al.*, 2005; BELHADI *et al.*, 2016), ou seja, a intenção é considerar limites de faturamento e tamanho de organização e não o fato de se tratar de uma indústria por projeto, único e sob encomenda.

Como já se destacou, a replicação dos princípios da manufatura enxuta traria benefícios relevantes para as empresas com sistemas de produção tipo ETO. Embora não exista na literatura uma estrutura que ilustre como isso pode ser feito em empresas tipo ETO, independentemente de seu porte, de forma prática e objetiva. Sob esse aspecto, identificam-se elementos da manufatura enxuta, sejam ferramentas ou técnicas, que devam estar presentes em um *framework* específico para ETOs, todavia há a necessidade de se considerar que alguns pré-requisitos, embora não sejam exclusivos das técnicas de manufatura enxuta, pois são comuns a outros processos de mudanças e melhorias como o TQM, TPM, 5S etc., devam ser considerados como básicos e fundamentais para a implementação (ANAD; KODALI, 2010).

Tradicionalmente, as organizações têm implementadas formas e práticas de trabalho tradicionais para o tipo de operação e quando se busca uma inovação, sair do lugar comum, é natural que haja algum tipo de resistência (MOTWANI, 2003), no entanto, uma mudança cultural é necessária. A implementação da manufatura enxuta envolve mudança nos processos empresariais e a aplicação da teoria da mudança nos processos, BPC, deve ser útil para suportar tais mudanças (LUO; TUNG, 19990).

Uma liderança comprometida e preparada para a mudança torna-se fundamental para o êxito do projeto, assim como fornecer à organização uma visão clara do projeto, seus objetivos e metas principais, bem como prover os recursos necessários à implementação (MOTWANI, 2003).

Conforme Kettinger e Grover (1995), quando se requer uma mudança significativa, nos processos de uma organização, é imperativo que essa iniciativa tenha como líderes os alto executivos dela trabalhando na definição e na comunicação

das mudanças, que o ambiente organizacional esteja apto a aprender, prontidão cultural, que as relações internas na rede sejam equilibradas, haja uma alavancagem e compartilhamento do conhecimento necessário às mudanças e que as práticas, que regerão essas mudanças, sejam com relação aos processos em si ou aos processos da mudança e estejam registrados e claros.

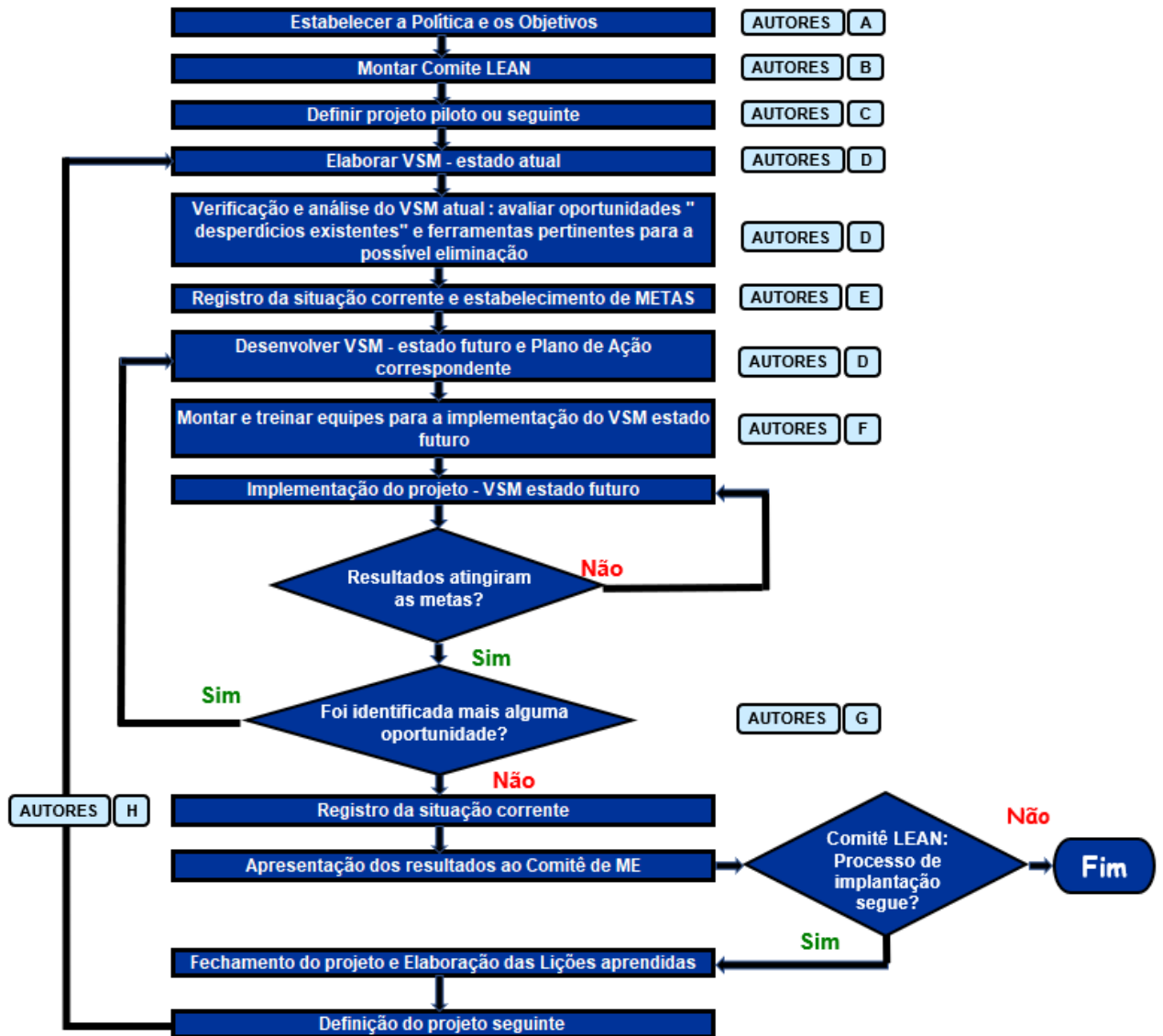
As práticas de gestão de processos e mudanças juntamente com o ambiente de mudanças contribuem para melhorar os processos de negócios e ajudam a garantir uma melhor qualidade de vida no trabalho, ambos requisitos para o sucesso da operação com foco no cliente e, finalmente, para trazer competitividade e sustentabilidade para a organização (DRAGO; GEISLER, 1997).

### **3.1. Estrutura Proposta**

As iniciativas de implementação da manufatura enxuta mais bem-sucedidas são aquelas que foram introduzidas como *roadmaps* e *frameworks* (MOSTAFA *et al.* 2013).

Tomando-se como base a estrutura proposta por Mostafa *et al.* (2013) e utilizando-se das sugestões de outros autores, que se mostraram igualmente bem-sucedidas quanto à utilização das técnicas e ferramentas, a seguir eis a indicação na estrutura como “autores”, e com foco específico na aplicação para uma organização ETO, chegou-se à seguinte proposta evidenciada na FIGURA 20 a seguir.

Figura 20 – Estrutura para implementação da manufatura enxuta em ETOs



Fonte: elaborado pelo autor.

Cujos autores que suportam as fases são:

#### **BLOCO - A - Autores**

ANAND e KODALI, 2010  
 BELHADI et al., 2016  
 BHAMU e SANGWANG, 2016  
 KARIM e ZAMAN, 2013  
 KUMAR e PHROMMATHED, 2006  
 NORDIN et al., 2012

#### **BLOCO - C - Autores**

BELHADI et al., 2016  
 MOSTAFA et al., 2013  
 SMEDS, 1994

#### **BLOCO - E - Autores**

BELHADI et al., 2016  
 BHAMU e SANGWANG, 2016  
 DAVIES e GREENOUGH, 2001  
 KARIM e ZAMAN, 2013  
 MOSTAFA et al., 2013  
 NORDIN et al., 2012

#### **BLOCO - F - Autores**

BELHADI et al., 2016  
 BHAMU e SANGWANG, 2016  
 KARIM e ZAMAN, 2013  
 MOSTAFA et al., 2013

#### **BLOCO - G - Autores**

ABDULMALEK et al., 2006  
 ANAND e KODALI, 2010  
 AHLSTROM 1998  
 BHAMU e SANGWANG, 2016  
 BHASIN, 2008  
 DAVIES e GREENOUGH, 2001  
 DETTY e YINGLING, 2000  
 KARIM e ZAMAN, 2013  
 MONDEN, 2012  
 MOTWANI, 2003  
 NORDIN et al., 2012  
 SANCHEZ e PEREZ, 2001

#### **BLOCO - B - Autores**

AHLSTROM 1998  
 BELHADI et al., 2016  
 BHAMU e SANGWANG, 2016  
 KARIM e ZAMAN, 2013  
 KUMAR e PHROMMATHED, 2006  
 MOSTAFA et al., 2013  
 NORDIN et al., 2012

#### **BLOCO - D - Autores**

ABDULMALEK et al., 2006  
 ANAND e KODALI, 2010  
 BELHADI et al., 2016  
 BHAMU e SANGWANG, 2016  
 BHASIN, 2008  
 DAVIES e GREENOUGH, 2001  
 KARIM e ZAMAN, 2013  
 KARLSSON e AHLSTROM, 1996  
 KUMAR e PHROMMATHED, 2006  
 MOSTAFA et al., 2013  
 MOTWANI, 2003  
 SANCHEZ e PEREZ, 2001  
 SMEDS, 1994  
 ZHOU et al., 2016

#### **BLOCO - H - Autores**

ABDULMALEK et al., 2006  
 ANAND e KODALI, 2010  
 ARGYRIS, 1992  
 BELHADI et al., 2016  
 BHASIN, 2008  
 DETTY e YINGLING, 2000  
 DRUKER, 1998  
 FELD, 2000  
 GARVIN, 2000  
 KARIM e ZAMAN, 2013  
 KARLSSON e AHLSTROM, 1996  
 KOGUT e ZANDER, 1992  
 MONDEN, 2012  
 MORGAN e LIKER, 2006  
 MOSTAFA et al., 2013  
 MOTWANI, 2003  
 SANCHEZ e PEREZ, 2001  
 SENGE, 1990  
 SHAH e WARD, 2003  
 NELSON e WINTER, 1982  
 WARD et al., 1995

#### 4. MÉTODOS DE PESQUISA

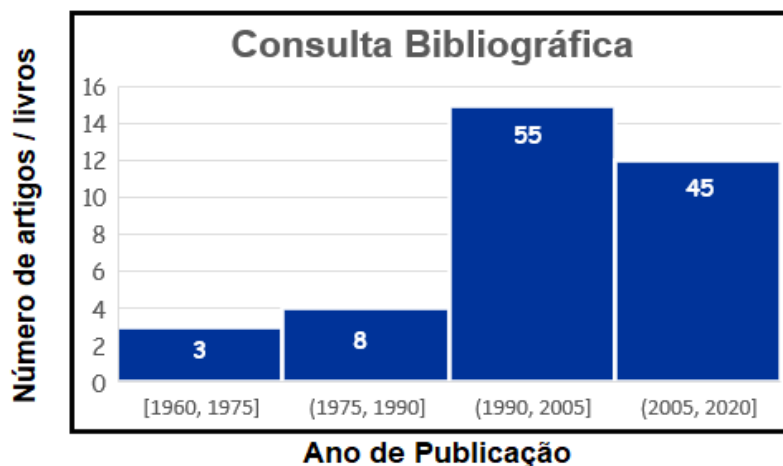
Neste Capítulo, descreve-se a metodologia aplicada ao desenvolvimento deste trabalho. Em função da proposição do trabalho e do cenário real existente, dentre todas as metodologias de pesquisa disponíveis, foi escolhida a pesquisa-ação, em virtude da possibilidade de interação do autor no planejamento e na aplicação em si do *framework* a ser implementada, cujo resultado dessa ação modificará a forma de condução dos processos em uma organização tipo ETO, de modo a ser possível desenvolver uma aprendizagem e gerar conhecimento científico a todos os envolvidos na ação propriamente dita.

A pesquisa é uma atividade básica da ciência, a qual conduz a uma forma de acesso ao conhecimento, na busca permanente da verdade e com cunho predominantemente racional a ciência, que utiliza sinalizações sistemáticas de erros e correções (VERGARA, 2016).

Explica Vergara (2016) que a formulação de problema científico compreende a elaboração de dissertações e teses, o que significa que estas, assim como relatórios de pesquisa em geral, surgem da existência de problemas científicos, isso porque dissertações, teses, monografias e os relatórios de pesquisa em geral trazem respostas a esses problemas.

A pesquisa gerou uma vasta quantidade de material, mas entre todos os artigos e livros pesquisados um total de 111 foram utilizados neste trabalho e devidamente catalogados, conforme GRÁFICO 1.

Gráfico 1 – Material Pesquisado



Fonte: elaborado pelo autor.

#### 4.1. A Escolha do Método de Pesquisa

Os tipos de pesquisa podem ser caracterizados tanto quanto aos fins a que se propõem ou quanto aos meios de que se utilizam. Quanto aos fins podem ser: exploratórias, descritivas, explicativas, metodológicas, aplicadas e intervencionistas. Com relação aos meios, podem se utilizar de pesquisas de campo, de laboratório, documental, bibliográfica, experimental, pesquisas-ação e estudos de casos.

Esta pesquisa almeja desenvolver um modelo específico para implementação da manufatura enxuta em organizações tipo ETO e intervencionista, visto que a validação se dará através de uma pesquisa-ação aplicada na prática. A pesquisa-ação é considerada o melhor método para entender e promover mudanças nas empresas, ressaltando que o responsável pela elaboração da pesquisa também interage com seus interlocutores e executores das ações alvo da pesquisa (THIOLLENT, 1997).

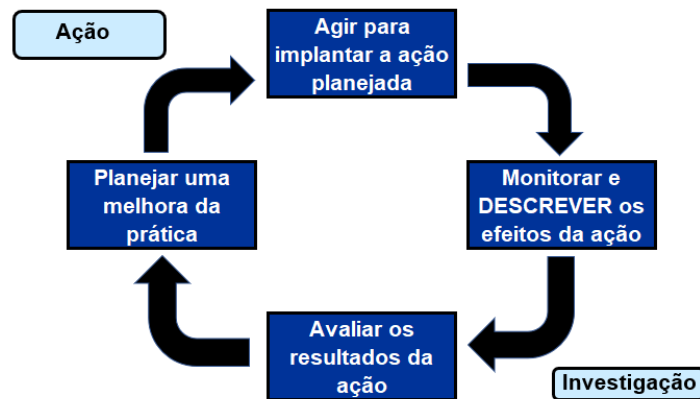
Na pesquisa-ação, a geração do conhecimento científico está fundamentada no conceito de pesquisa e a possibilidade de alterar de forma intencional uma realidade é o que objetiva o termo ação (MELLO, 2012). A pesquisa-ação é um processo participativo, que reúne a teoria e a prática, em busca de soluções objetivas de interesse do pesquisador (REASON, BRADBURY, 2001).

Brown e Dowling (2001) definem que a pesquisa-ação trata de projetos em que agentes práticos procuram implementar melhorias em suas próprias práticas habituais. Grundy e Kemmis (1982) flexibilizam um pouco mais sua definição afirmando que se trata de uma tentativa de identificar novas ações estratégicas que podem planejar e implementar e, após essa implementação, devem ser observadas quanto aos seus impactos e resultados analisando-se possíveis melhorias e executando-as na prática. A pesquisa-ação, explica McNiff (2002), significa ter consciência dos princípios que norteiam o trabalho, de maneira que é preciso ter clareza do que se está fazendo e de seu porquê.

A pesquisa-ação é uma abordagem de pesquisa que não distingue pesquisa e ação, acrescenta o tema da pesquisa na ação (COUGHLAN; COUGHLAN, 2002). Dessa forma, pela essência da pesquisa-ação e alinhado com a definição de Grundy e Kemmis (1982), é perfeitamente possível fazer uma analogia ao ciclo PDCA, o que também remete à busca da melhoria contínua na organização que têm o objetivo de manter sua competitividade e sustentabilidade, que são essenciais para quem utiliza da implementação dos sistemas de manufatura enxuta. A semelhança é ainda mais

clara quando se observa o esquema apresentado por Tripp (2005), exposto na FIGURA 21.

Figura 21 – Esquema representativo da pesquisa ação



Fonte: adaptado de Tripp (2005).

Importante destacar que a pesquisa-ação executa ações tanto no âmbito prático do foco de pesquisa, ou seja, no trabalho em si, quanto na pesquisa propriamente dita, com isso trará modificações na forma de desenvolver a atividade bem como afetará a própria pesquisa científica.

No QUADRO 2, a seguir se mostra a relação entre a pesquisa-ação e a pesquisa científica e suas diferenças.

Quadro 2 – Características da pesquisa ação

Características da Pesquisa-ação		
Pratica rotineira	Pesquisa-ação	Pesquisa científica
habitual	inovadora	original / patrocinada
repetida	contínua	ocasional
reativa contingência	pró-ativa estrategicamente	metodologicamente conduzida
individual	participativa	colaborativa / colegiada
naturalista	intervencionista	experimental
não questionada	problematizada	contratual (negociada)
com base na experiência	deliberada	discutida
não-articulada	documentada	revisada pelos pares
pragmática	compreendida	explicada / teorizada
específica do contexto		generalizada
privada	disseminada	publicada

Fonte: adaptado de Tripp (2005).



No QUADRO 2, é apresentada a prática habitual e são feitas as comparações com as modalidades de pesquisa, pesquisa-ação e pesquisa científica. No caso deste trabalho, é possível fazer as afirmações expostas a seguir.

O que está a se buscar é uma nova forma de desenvolver um trabalho habitual e de uma forma não rotineira como se procedem com os casos de pesquisa científica, portanto, enquadra-se na condição de inovadora. O ideal é o assunto tratado e melhorado ser alvo de periódicas avaliações no sentido de garantir sua sustentabilidade aplicando o conceito de melhoria contínua, em que pequenas melhorias são incluídas, no processo ao longo do tempo, pequenos, mas robustos incrementos.

Será um processo proativo no que diz respeito às eventuais mudanças e são estratégicas, porque tais mudanças serão propostas através de análises de informações pré-existentes em pesquisas. Como recomendado por muitos autores, que tratam de implementação de mudanças e processos, no caso deste trabalho por afinidade ao tema Rother e Shook (2009), as chances de sucesso nas implementações são maiores quando todos os envolvidos são chamados a fazer parte da equipe que aplicará a pesquisa-ação, de forma intensa e participativa, não apenas como ouvinte.

Aplicar, nesse contexto, os preceitos estabelecidos para um *brainstorm* é fundamental, todos falam, todos ouvem. Como a pesquisa será no chão de fábrica e como terá objetivos muito claros e alinhados com a estratégia da organização que patrocina o experimento, pode-se dizer que não haverá influências de alguns parâmetros descritos nas pesquisas científicas e se adaptará ao ambiente e às características de forma mais intervencionista.

Argyris e Schon (1974) afirmam que a aprendizagem é uma via de mão dupla, ou seja, trata-se realmente de uma troca de conhecimentos. No caso da pesquisa-ação, por definição, o começo é iniciado sempre através de um problema a ser resolvido ou melhorado.

Já que se fará uma intervenção na prática habitual dos processos de fabricação, a pesquisa será deliberativa, como cada resultado e cada ação, deverá passar por uma avaliação para buscar a melhor resposta, a que provavelmente aperfeiçoará a situação da forma mais eficaz.

Com relação à formalização dos dados e à validação dos resultados e métodos, a pesquisa-ação assume uma posição intermediária desobrigando-se da validação

dos pares, mas deixando um acervo de informações e dados que não são foco de preocupação, atuando-se apenas na prática.

Enquanto a prática habitual se preocupa com o funcionamento bom e com regularidade, somente atuando de alguma forma quando surgem problemas, a pesquisa-ação se preocupa em entender o problema e o porquê para projetar as mudanças necessárias de forma eficaz e duradoura.

A pesquisa-ação é disseminada e compartilhada, num primeiro momento, na própria organização onde se desenvolve, numa segunda onda com pares de afinidade específica, por exemplo, engenheiros e, eventualmente, em publicações nos meios científicos, artigos técnicos, apresentação em simpósios e até mesmo livros.

Desse jeito, o presente trabalho classifica-se, quanto aos meios, como uma pesquisa-ação, visto que a validação das proposições e elaboração da estrutura de implementação serão feitas pelo autor e equipe em uma situação real em uma organização de produção de bens de capital sob encomenda não seriada, tipo *engineer-to-order* ETO. Além dos objetivos de validação, também será possível a produção de conhecimento de forma conjunta, desenvolvendo um modelo teórico, auxiliando na formulação e na implementação da ação.

Por fim, a pesquisa também é classificada como bibliográfica, dado que, segundo Vergara (2016), a pesquisa bibliográfica é uma forma sistematizada de busca por literatura técnica científica pertinente em fontes qualificadas de acordo com o índice “Qualis”, quando for o caso de periódicos e revistas ou livros de autores consagrados em suas áreas específicas.

## **4.2. A Pesquisa-Ação**

Foi definida a empresa na qual foi realizada a pesquisa-ação mediante sua característica de ser uma ETO e por interessar-se e estar motivada com a implementação da manufatura enxuta. Além disso, houve a concordância que um membro externo à organização pudesse desenvolver, em colaboração com a equipe interna, um projeto piloto para a implementação da manufatura enxuta. Também houve a concordância que o membro externo tivesse acesso a todas as informações necessárias para o desenvolvimento da pesquisa. Atendendo a estes requisitos, foi definida uma empresa multinacional produtora de bens de capital sob encomenda do

ramo de produção de equipamentos para a geração de energia elétrica por meio da hidrogeração.

A pesquisa-ação, desenvolvida para embasar este trabalho, foi realizada mediante duas fases conforme mostradas na FIGURA 22. A equipe do projeto teve como gerente de projetos o autor deste trabalho que iniciou as atividades criando um Comitê de Implantação, a própria equipe do projeto além do *sponsor*, membro da diretoria da organização. Estabeleceu-se um projeto piloto e, a partir deste, elaborou-se um Mapa de Valor Atual, ou VSM atual.

Na sequência, a equipe do projeto fez o levantamento do estado atual em relação ao projeto piloto definido.

De forma resumida de avaliação, o VSM ajuda a visualizar mais do que apenas o nível de processo, ou seja, montagem, soldagem etc., na produção, é possível enxergar o fluxo, além disso, ajuda a ver mais do que os desperdícios, o VSM evidencia as fontes de desperdícios no seu fluxo de valor, mostra a ligação entre o fluxo de informações e o fluxo de material, uma vez que nenhuma outra ferramenta faz isso (ROTHER; SHOOK, 2009).

O VSM é mais útil do que ferramentas quantitativas e diagramas de *layout* que produzem uma contagem de etapas que não agregam valor, tempo de execução, distância percorrida, quantidade de inventário e assim por diante. O mapeamento de fluxo de valor é uma ferramenta qualitativa pela qual se descreve detalhadamente como sua instalação deve operar para criar um fluxo. Os indicadores são bons para criar uma sensação de urgência ou como um antes e depois das medidas. O mapeamento de fluxo de valor é bom para descrever o que realmente afetará esses indicadores (ROTHER; SHOOK, 2009).

Como é indicado pelos especialistas, Rother e Shook (2009), a coleta de dados e a informação no chão de fábrica devem ser feitas diretamente pela equipe, dado que esta não deve aceitar dados informados, todavia apenas dados coletados e avaliados.

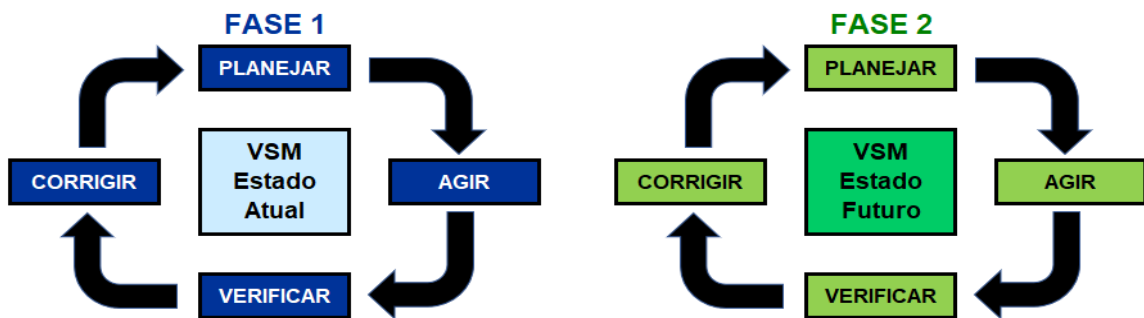
A partir da coleta de dados relativos à situação atual, foi gerado um relatório formal indicando oportunidades de eliminação de desperdícios e ações para a eliminação ou redução deles. Foi gerado então um VSM estado futuro que, por característica inerente à técnica, já tem incorporado um Plano de Ação, então, iniciaram-se as ações de melhoria propriamente ditas.

Após executadas as ações de melhoria, em uma segunda fase, foram avaliados os resultados e comparados com as metas planejadas no VSM estado futuro, se foram

atingidos ou satisfatórios, se ainda havia oportunidades a serem exploradas, como num *looping* de PDCA (LIKER, 2004), caracterizando um dos fundamentos da manufatura enxuta que é a melhoria contínua (OHNO,1997).

Registraram-se os resultados e as novas práticas e procedimentos foram consolidadas, padronizadas e cascadeadas para a organização.

Figura 22 – Desenvolvimento da pesquisa-ação



Fonte: elaborado pelo autor.

Em função do tempo necessário para a realização deste pesquisa-ação (cerca de 24 meses), o projeto piloto precisou ser implementado antes do início do mestrado ao qual esta dissertação corresponde. Trata-se, portanto, de uma pesquisa-ação retrospectiva, plenamente aceitável de acordo com Coughlan e Coughlan (2002).

#### 4.2.1. Estruturação da pesquisa-ação

A pesquisa-ação foi realizada em uma empresa multinacional fabricante de produtos e sistemas para a geração de energia elétrica a partir de hidrogeração.

As características desse tipo de empresa é a produção de grandes componentes, em que as dimensões de tamanho e peso destacam-se obrigando a que se tenha uma capacidade fabril adequada. Esses equipamentos e sistemas são executados mediante projeto específico e singular e tão somente após a assinatura de contrato de fornecimento, ou seja, uma genuína empresa tipo ETO.

O desenvolvimento da pesquisa-ação foi com base no *framework* proposto para a implementação da manufatura enxuta e, através de seus resultados e correções, foi validada a proposição sedimentando o aprendizado obtido e os avanços no que concerne a utilização da manufatura enxuta em empresas tipo ETO.

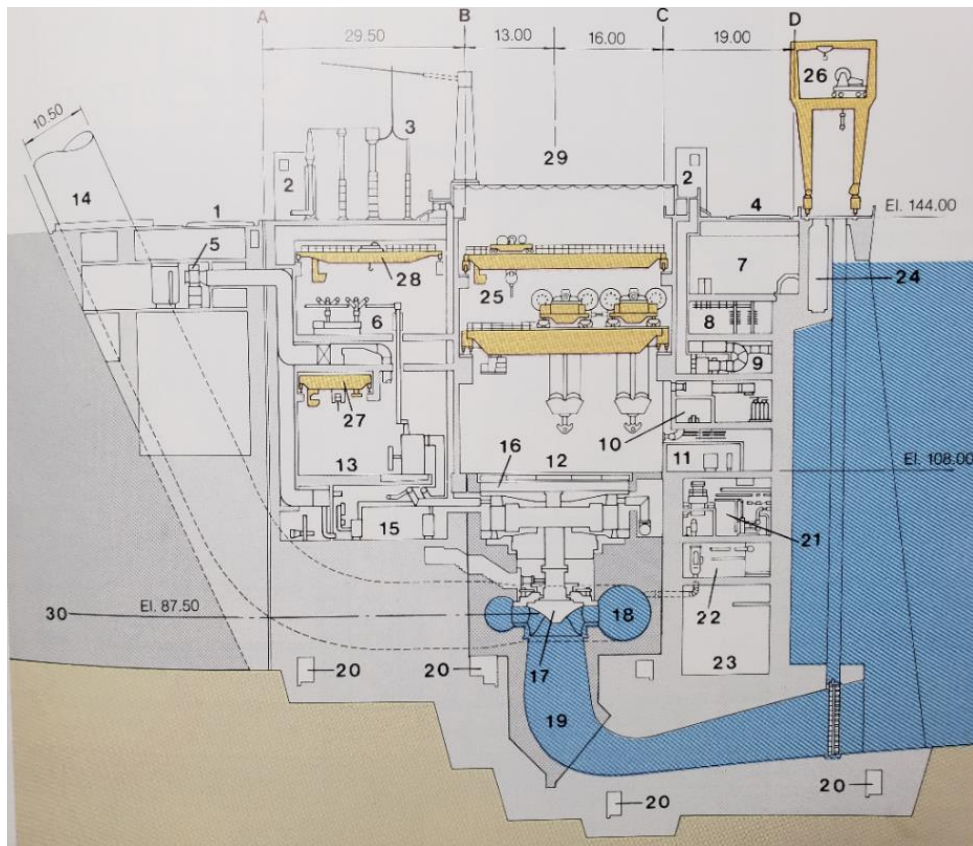
## 5. PESQUISA-AÇÃO – RESULTADOS

Com o intuito de validar a proposta de *framework* para implantação do Lean em empresas ETO, foi utilizada uma pesquisa-ação em um cenário que se afina com o propósito.

A empresa selecionada é uma organização que se dedica à implementação de soluções para geração de energia elétrica, especificamente, hidrogeração. Seu escopo de trabalho começa já nos estudos de viabilização de uma Usina Hidrelétrica avaliando os projetos de implementação com suas variáveis econômicas e impactos ambientais, de forma que seja plausível oferecer aos eventuais investidores a melhor relação de custos benefícios.

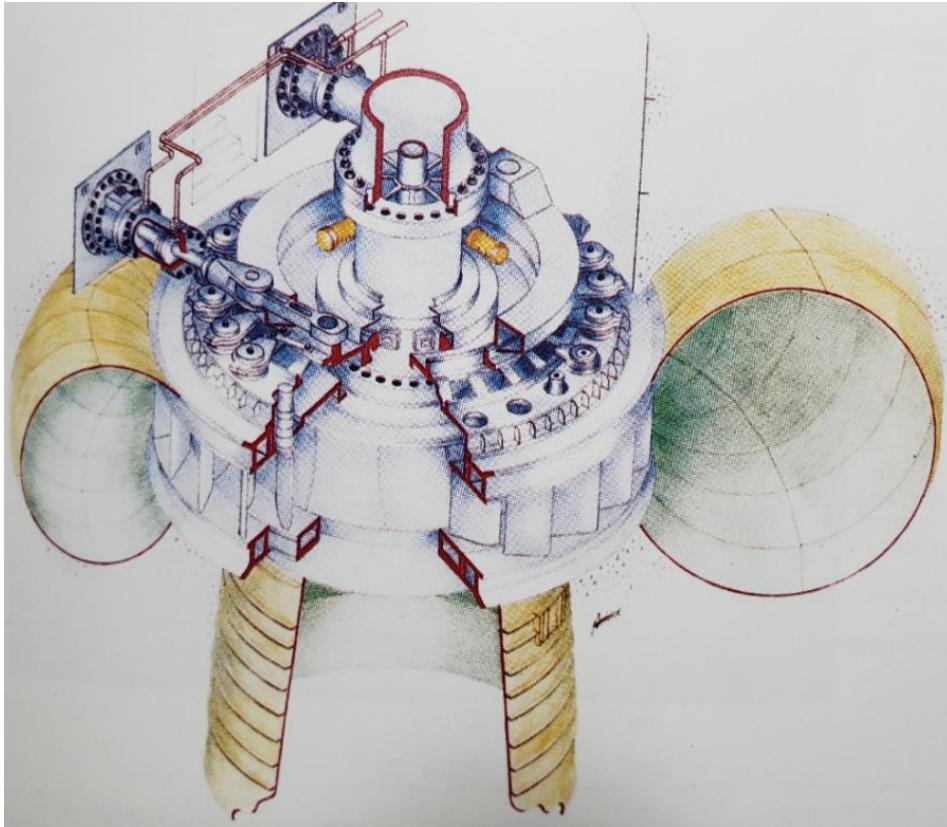
Abaixo verifica-se uma representação esquemática de uma unidade geradora hidroelétrica, doravante será tratada através da sigla UHE (ANEEL, 2019).

Figura 23 – Arranjo geral da seção da casa de força



Fonte: ITAIPU, 1994.

Figura 24 – Arranjo geral da turbina e vista em corte



Fonte: ITAIPU, 1994.

As UHE são caracterizadas por serem equipamentos específicos para aproveitamentos hidráulicos determinados com isso demandam projetos exclusivos para cada solução. Normalmente, entre seu marco inicial e a entrega para geração de uma primeira unidade, toma-se um tempo entre 24 a 36 meses, aproximadamente. As UHE são consideradas usinas de grande porte com geração acima de 50 MW (ANEEL), porém, há também a possibilidade de aproveitamento em pequenos rios, onde são viabilizadas as Pequenas Centrais Hidráulicas (PCHs) com geração máxima de 30 MW (ANEEL), entretanto, mesmo se tratando de equipamentos menores não se percebe uma redução de prazo expressiva na execução e na implantação desses tipos de projetos.

Esses tipos de projeto, no passado, tratavam-se de investimentos exclusivos dos governos, em vista de ser um bem de interesse público e fundamental para o desenvolvimento do País, contudo, em determinado momento, houve uma ruptura nessa relação de investimento, logo a necessidade de ampliar a disponibilidade de geração e a falta de capacidade financeira do Governo Brasileiro em fazer a aplicação

dos recursos necessários, esse tipo de investimento foi aberto para investidores privados.

Mais do que nunca os interesses dos investidores se sobressaíram entre o desejo de ver o retorno de seus investimentos da forma mais rápida possível que, nesse caso, trata-se do início de geração de energia elétrica de forma comercial. Esse fato colocou como um alvo, em potencial, os prazos de entrega dos projetos, obviamente, atrelados aos custos e a qualidade.

À vista disso, todos os fornecedores desse mercado, nacionais ou estrangeiros, sentiram de fato a necessidade de aprimorar seus processos e suas práticas não só para vencerem as licitações, mas também como cumprir os prazos pactuados, visto que as multas relativas ao não cumprimento de datas contratuais passaram a representar uma fatia importante nos resultados operacionais das empresas, isto é, ratificado verificando-se seus pesos relativos em relação às margens de lucro.

## **5.1 A Empresa**

Doravante trataremos a empresa foco desta pesquisa ação como Empresa ABC. A Empresa ABC é uma companhia multinacional com unidades em vários países e cada um destes países, de acordo com suas características e matrizes energéticas possui plantas de fabricação adequadas à estas características.

No Brasil a empresa ABC possui uma unidade de produção com alta capacidade tanto em termos de produção como de fabricação de peças de grande porte. Isto devido ao fato de que a matriz energética brasileira se baseia na hidrogeração e por sua riqueza em termos hidrográficos com grandes potenciais de aproveitamento, por exemplos: Itaipu, Belo Monte, Teles Pires, etc., as usinas geradoras de energia tendem a ser de grande porte.

A empresa ABC é uma grande planta com capacidade de fabricação de equipamentos de grande porte mecano-soldados, componentes com característica de peso até 450t e dimensões que atingem facilmente 15m que exigem máquinas aptas para este tipo de produção, tornos verticais extrapesados – EHVL, mandrilhadoras extrapesadas – EHMM e tornos horizontais extrapesados – EHHL. Estas máquinas são raras e no Brasil sua disponibilidade é muito reduzida, pouquíssimas indústrias tem em seu portfólio de produção máquinas com estas características. Além das Pontes Rolantes com capacidade de levantamento adequadas, as áreas fabris

também têm grandezas adequadas. No caso da empresa ABC a capacidade de levantamento combinada no pavilhão de usinagem superpesado, chega a 750ton. e sua área total construída disponível supera os 54.000m<sup>2</sup> desta área total mais de 12.000m<sup>2</sup> exclusivo para componentes super. pesados.

Como uma UHE não é construída apenas por componentes superpesados, outros tantos componentes, dos mais variados portes, também devem ser produzidos e como ideia geral da capacidade da empresa ABC a mesma chegou a produzir mais de 1.500.000 horas produtivas em um ano, operando em dois turnos de trabalho e para casos muito específicos em turno especiais fazendo um aproveitamento de 100% da disponibilidade das máquinas. A seguir se apresentam algumas características, atividades e comportamentos existentes na empresa ABC.

### **5.1.1 O Programa 5S**

No Brasil, na década de 90, era natural haver ambientes fabris nos quais processos de caldeiraria e usinagem deixavam quase improvável a possibilidade de encontrar um ambiente fisicamente limpo, organizado e agradável de ser habitado pela natureza das operações e pelos hábitos praticados.

Muito antes de se pensar de forma *Lean*, a empresa ABC percebeu que, se conseguisse transformar aquele ambiente, trazendo limpeza e organização, traria atrelado a este aspecto um ponto muito importante: melhorias consideráveis na saúde dos trabalhadores, principalmente, nos aspectos ligados a acidentes do trabalho.

Mudar as práticas e as atitudes que se tornaram “hábitos”, pela prática constante ao longo do tempo de determinadas ações e atitudes, requer muito tempo e perseverança e somente, desse modo, é que se consegue mudar tais comportamentos, acima de tudo, essa mudança e postura devem proceder da cadeia de comando, dos líderes.

Assim foi feito e os reflexos dessas mudanças de comportamento e atitudes começaram a surtir resultados gradativamente até que, nos anos 2000, com a introdução de um programa forte de 5S, pôde-se observar melhorias significativas nos indicadores de acidentes e incidentes de trabalho comparando-se padrões de excelência mundial para atividades desse perfil.



A introdução de um Programa de 5S, com o apoio incontestável da liderança, transformou o ambiente de trabalho e trouxe os resultados expressivos nos anos subsequentes.

Buscou-se, nas áreas, pessoas com forte perfil de aderência às posturas 5S e senso de liderança e foi feito um treinamento intenso adequando esses profissionais, oriundos das várias áreas de produção, para desempenhar papel de multiplicador do conhecimento e execução de auditorias que passaram a ser realizadas com frequência mensal.

Toda a área fabril foi dividida em áreas geograficamente delimitadas variando de 150 a 200m<sup>2</sup> e os trabalhadores habituais dessas áreas, depois de um Kaizen de melhorias, chegaram ao modo como deveria ser organizada e mantida cada uma delas visando o bom ambiente de trabalho e, em consequência, a prevenção de acidentes.

Depois de organizadas as áreas, eram fotografadas em detalhes e a partir destas, padrão, é que são feitas as auditorias. Em função dos resultados das auditorias mensais, os responsáveis dessas áreas apresentavam para a liderança os progressos e as boas práticas, bem como planos de ação para eliminar não conformidades. Incentivando esse processo, cada área recebe uma avaliação e, ao final do exercício, prêmios são distribuídos como incentivo e motivação para continuidade dos trabalhos.

Foco especial foi dado à coleta correta de resíduos e a reciclagem com 100% dos resíduos coletados apropriadamente e 95% em peso reciclado, a coleta mostrou-se um forte aliado no programa.

Outra ação importante implementada foi o estabelecimento, no calendário anual, de um dia de dedicação ao Programa 5S. Nesse dia, desde o mais simples colaborador ao Diretor-geral, foram compostos em times e tiveram uma missão a cumprir em determinada área da fábrica. Valorizaram-se o espírito de time, a manutenção do conceito de importância do Programa 5S e o comprometimento do alto escalão.

No final desse dia, as famílias dos colaboradores eram convidadas a visitar a fábrica para verificar como esta se apresentava após a dedicação de todos, com isso, buscou-se enraizar os conceitos de 5S e de segurança no trabalho em todos: colaboradores e familiares.

- ✓ 5S requer mudança cultural e envolvimento;
- ✓ Envolver as famílias dos colaboradores para tornar o 5S e a segurança no dia a dia uma filosofia de vida.

Os resultados do programa foram expressivos e, observou-se, simultaneamente, um efeito adicional muito positivo: o aumento da produtividade.

### **5.1.2. Melhoria contínua**

Outra ação importante que sustentou o processo de 5S e expandiu-se, posteriormente, em todas as áreas da empresa, foi o Plano de Sugestões que, por intermédio da ideia de que melhorando um pouco a cada dia, mesmo que uma mudança aparentemente insignificante, no todo, isso representará grandes melhorias para a organização. Esse sistema foi implementado através da metodologia A3.

### **5.1.3. Redução do tempo de preparação de máquina, *Setup***

Preparação de máquinas, ou *setup*, é considerada uma atividade que não agrega valor e a busca por redução ou eliminação do tempo despendido com ela se torna muito importante. Está presente nas máquinas que produzem peças ou componentes de origem variadas obrigando que as condições de fixação, parâmetros de fabricação, centralização e balanceamento sejam adequadas a cada componente ou peça. Grande parte dos fabricantes de máquinas e equipamentos tem essa preocupação em mente e algumas boas soluções já estão viabilizadas, embora deva ser uma preocupação constante nos casos em que não se atingiu o zero de tempo gasto. O *Single Minute Exchange of Die* (SMED) foi concebido nesse sentido, se não pode ser zero quão rápido poderia ser.

Nos casos em que as peças e componentes são extremamente grandes, o tempo de preparação, ou *setup*, também é muito grande e a busca por reduzi-lo também deve ser considerado, uma vez que, às vezes, consegue atingir resultados expressivos, veja exemplo abaixo.

Figura 25 – Exemplo de Redução de *setup*

### Redução no tempo de preparação

**Nariz do Bulbo – Usinas Rio Madeira**  
Dispositivo para centrar e nivelar peça  
fora da máquina



Fonte: elaborado pelo autor.

O exemplo mostrado na FIGURA 25 mostra um componente com aproximadamente 60ton, altura 4200mm e diâmetro 9500mm, em vez de colocá-lo diretamente na placa do torno vertical e proceder com a centralização, o nivelamento e a fixação, toda a operação é feita sobre um dispositivo fora da máquina evitando-se a perda preciosa de tempo de uma máquina tipo gargalo. Nesse caso, uma operação de preparação, que gastava aproximadamente 45h, passou a gastar 6h.

#### 5.1.4. Manutenção Produtiva Total

Não há ninguém melhor que o operador para conhecer o equipamento em que trabalha e, caso seja instruído e orientado para realizar pequenos trabalhos e ajustes no campo da manutenção preventiva, como a Manutenção Produtiva Total (TPM), certamente, oferecerá uma grande redução nos desperdícios advindos de uma quebra inesperada ou do tempo de atendimento da equipe de manutenção. Para tanto procedimentos e rotinas específicos para cada equipamento devem ser estabelecidos e os operadores dos respectivos equipamentos treinados para executá-los.

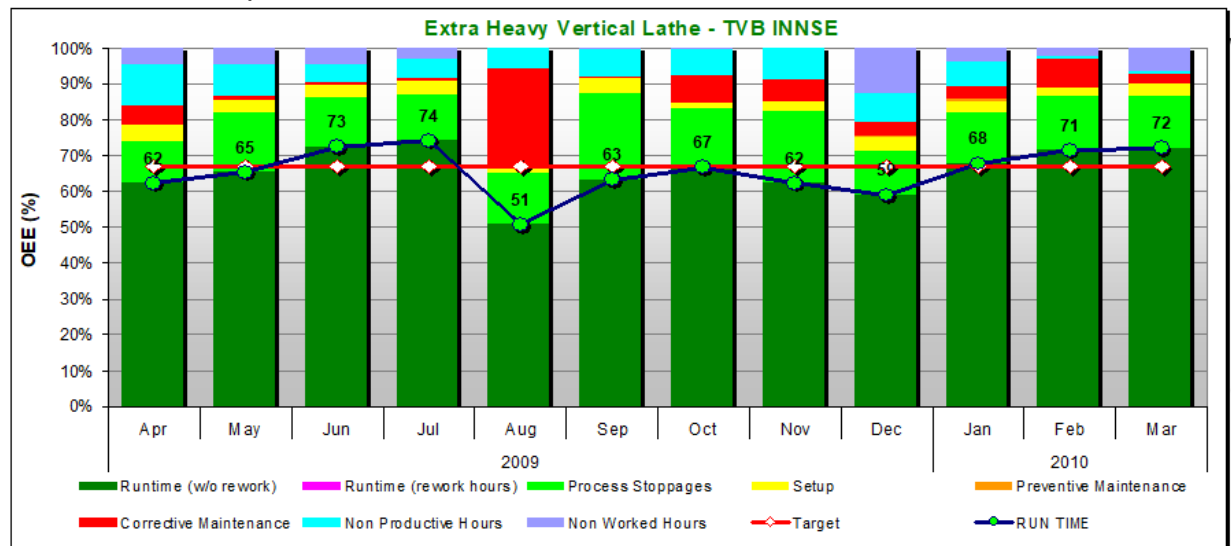
Muitas intervenções podem ser feitas de forma segura, enquanto o equipamento estiver em produção, além disso uma regularidade nos cuidados básicos evitará quebras inesperadas. Esse tipo de procedimento poderá ser monitorado e

avaliado, visto que será uma preocupação constante, na manufatura enxuta, a melhoria contínua é esperada.

Sem quebras inesperadas, o equipamento contribui de forma efetiva com os indicadores de produtividade e o envolvimento de todos ligados diretamente a ele explicam o nome dado à técnica. O termo manutenção relaciona-se também ao conceito de manter processos confiáveis e produção contínua.

Como resultado, espera-se que o TPM traga um *Run Time*, conforme GRÁFICO 2, maior para os equipamentos, ou seja, máquinas de usinagem, por exemplo, que passem o maior tempo possível em modo de corte.

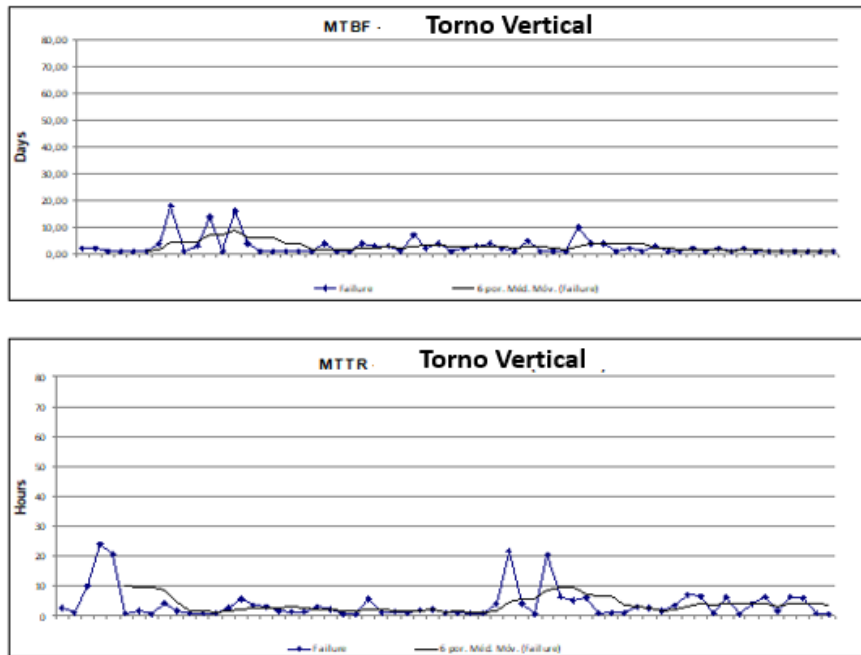
Gráfico 2 – Exemplo de Controle de *Run Time*



Fonte: elaborado pelo autor.

Alguns indicadores específicos poderão ser utilizados para avaliar a eficiência e a eficácia do processo de TPM, vide o Gráfico 3. De forma coerente, são registrados os intervalos médios de tempo entre falhas (MTBF), o tempo gasto efetivo na recuperação do problema e falha até que o equipamento volte a produzir (MTTR).

Gráfico 3 – Exemplo de controle MTBF e MTTR

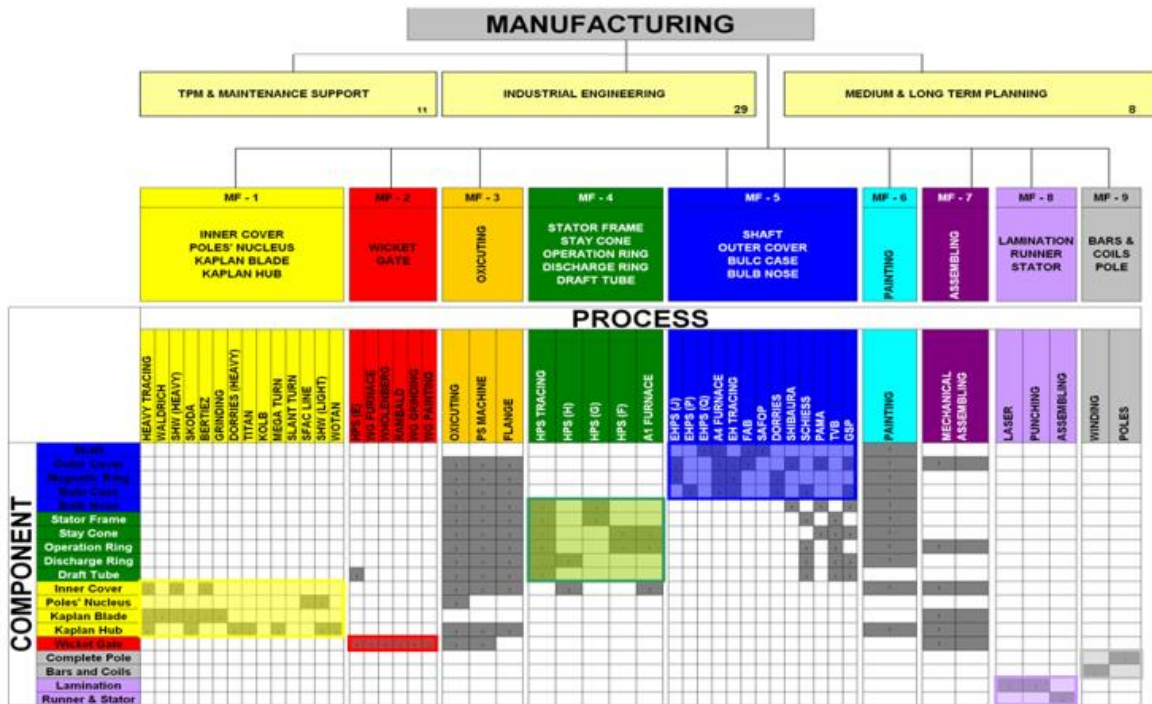
**MTBF , MTTR**

Fonte: elaborado pelo autor.

**5.1.5. Famílias de componentes**

Como a empresa ABC é de bens de capital sob encomenda, praticamente produções unitárias, foi feito um estudo e foram agrupados os principais itens de fabricação em famílias, buscando-se, por intermédio do processo de fabricação, as semelhanças entre esses principais componentes. A seguir é possível verificar o mapeamento executado na FIGURA 26.

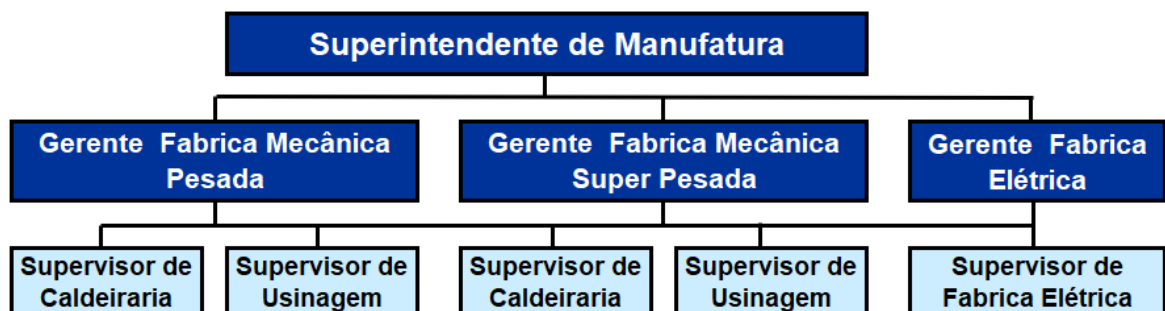
Figura 26 – Mapeamento de família de produtos



Fonte: elaborado pelo autor.

A análise e o agrupamento dos principais componentes fabricados foram utilizadas também para reestruturar a fábrica como um todo. Antes desse evento, a organização da fábrica era dividida em três gerências: fabricação mecânica pesada, fabricação mecânica superpesada e outra de fabricação elétrica. Abaixo dos dois Gerentes de fabricação havia os supervisores de sessão, vide organograma abaixo FIGURA 27.

Figura 27 – Organograma antigo

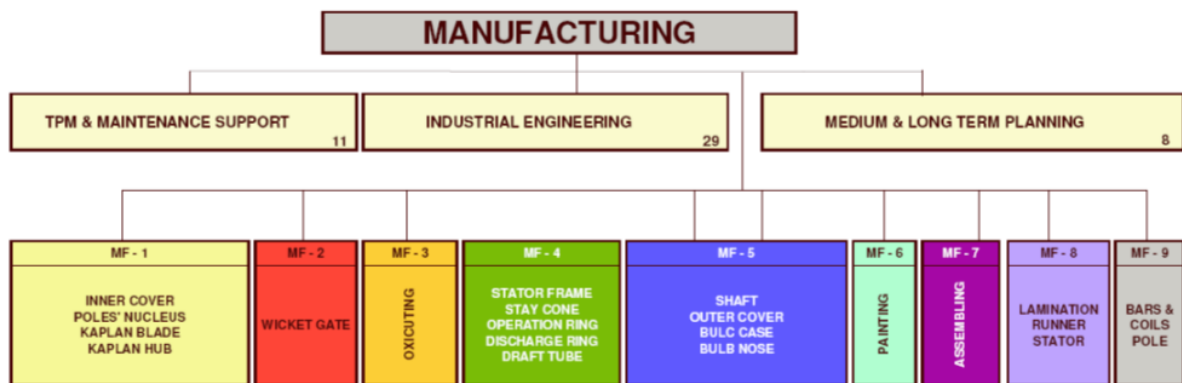


Fonte: elaborado pelo autor.

Conforme organograma acima, a estrutura era baseada em organização funcional, ou seja, por departamentos e isso também precisou mudar. O enfoque e o objetivo não deveriam mais serem criados em função de departamentos, sessões, mas sim, no cliente e as responsabilidades não deveriam mais ser por área, mas por produto acabado entregue.

Nessa linha, houve uma nova divisão da fabricação e foram criadas novas gerências e as responsabilidades deixaram de ser atribuídas por áreas e passaram a ser representadas por famílias de produtos, do começo ao fim de fabricação. Mediante essa situação, gerentes de mini fábricas exerciam papel de fornecedores e de clientes internos simultaneamente, conforme FIGURA 28.

Figura 28 – Novo organograma com Mini Fábricas



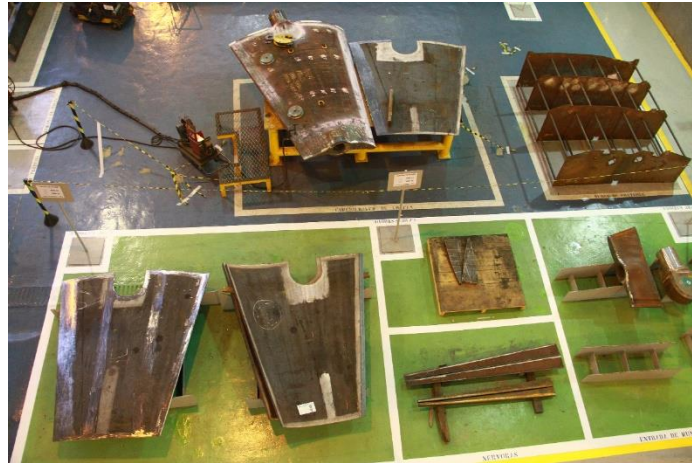
Fonte: elaborado pelo autor.

### 5.1.6. O Kanban e WIP

Com peças e equipamentos de grande porte, o espaço físico torna-se um ponto crítico dentro do processo de fabricação de modo que a utilização do Kanban surgiu como uma poderosa ferramenta na busca de otimização desses recursos.

Por meio de um sistema de gestão visual, delimitaram-se tanto as áreas a serem utilizadas no chão de fábrica quanto o WIP, controlando-se assim os parâmetros de ocupação de área e o custo de material em processo. Somente nas áreas pintadas em verde é que poderiam ser armazenadas peças aguardando a hora de entrar em produção, em conformidade com a FIGURA 29.

Figura 29 – Delimitação física de área de espera



Fonte: foto do autor.

Além das demarcações no piso, Painéis de Gestão Visual foram instalados em cada posto de trabalho contendo:

- ✓ Os cartões relativos à sequência de fabricação e à próxima peça;
- ✓ Informações sobre a qualidade;
- ✓ Informações sobre a manutenção;
- ✓ Informações sobre o planejamento;
- ✓ Informações sobre a segurança e o programa 5S.

A implementação do Kanban permitiu um controle rigoroso do *Work in Progress* (WIP), que se trata do inventário de produtos em processos de fabricação, um dos itens combatidos pelo sistema LM tratando seu excesso como desperdício.

A única exceção trata-se dos Tornos Verticais e Horizontais da fábrica superpesada, por se tratarem de máquinas “gargalo de produção” por conta de sua capacidade em usinar peças de grande porte dimensional. Como mencionado anteriormente, era necessário fazer um aproveitamento total de suas disponibilidades de hora produtivas e não poderia haver uma falha na programação de peças a serem usinadas que causasse horas improdutivas. Pela natureza das peças, o custo de transporte com cargas especiais tornava-se muito superior ao que o próprio custo da operação.



## 5.2. A Equipe do Projeto de Implantação

A alta gestão da empresa definiu a política, os objetivos e um comitê para a implantação do projeto de manufatura enxuta e nomeou, como gerente do projeto, o autor deste trabalho. A partir daí, foi formada a equipe para iniciar o projeto, buscou-se, entre os colaboradores, os que se destacaram nos processos de implementação de projetos anteriores, como SAP, 5S, EHS, além da formação acadêmica adequada ao projeto.

## 5.3. Definição do Projeto Piloto

Dentre os componentes mais importantes de uma Unidade de Hidrogenação, buscou-se um item que fizesse parte do caminho crítico do projeto, ou seja, um item que, sofrendo um atraso no cronograma de fabricação, colocaria em risco o prazo final de geração de energia elétrica.

O componente escolhido foi o Eixo da Turbina / Gerador na FIGURA 30.

Figura 30 – Eixo da Turbina



Fonte: Itaipu (1994).

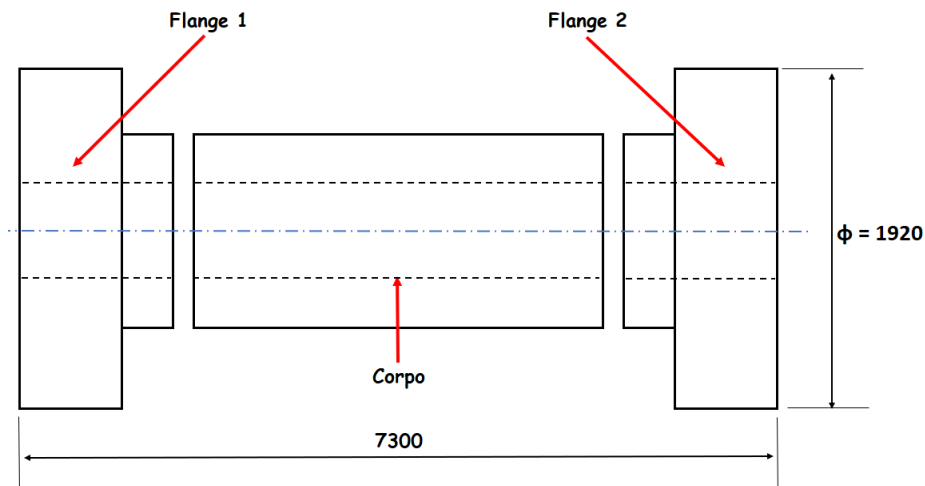
#### 5.4. Desenhando o Mapa de Valor Estado Atual – VSM

Um fluxo de valor são todas as ações (que agregam valor e as que não agregam) realizadas em um processo para transformar ou criar um produto considerando seus fluxos e processos essenciais para sua obtenção. O fluxo de produção é um processo que abrange desde a matéria-prima até a entrega efetiva ao cliente final (ROTHER e SHOOK, 2009).

No caso desta pesquisa-ação, o foco para definir o Mapa de Valor centrou-se no ciclo que acontece internamente na fábrica, ou seja, do momento em que deslocamos a matéria-prima do estoque para a produção até entregarmos a peça pronta para a expedição. Mesmo assim, conseguimos manter o critério de olhar o todo, mas focado na produção.

O eixo da turbina é o elemento que liga a Roda da Turbina que recebe a água e, através de seu giro, faz com que haja o da parte rotativa do gerador, produzindo a energia elétrica. Trata-se de um componente de aço forjado e, por suas características dimensionais, tem de ser forjado em três partes: a central e dois flanges, conforme esquema abaixo na FIGURA 31.

Figura 31 – Croqui do Eixo da Turbina



Fonte: elaborado pelo autor.

##### 5.4.1. Mapa do Estado Atual

A elaboração de um Mapa de Valor, conforme orientado por Rother e Shook (2009), deve ser desenhada pelo responsável pelos processos LM contendo todo o

percurso atual da fabricação anotando e conferindo cada detalhe, conforme definido pelo termo em japonês aplicado aos processos de LM – Gemba.

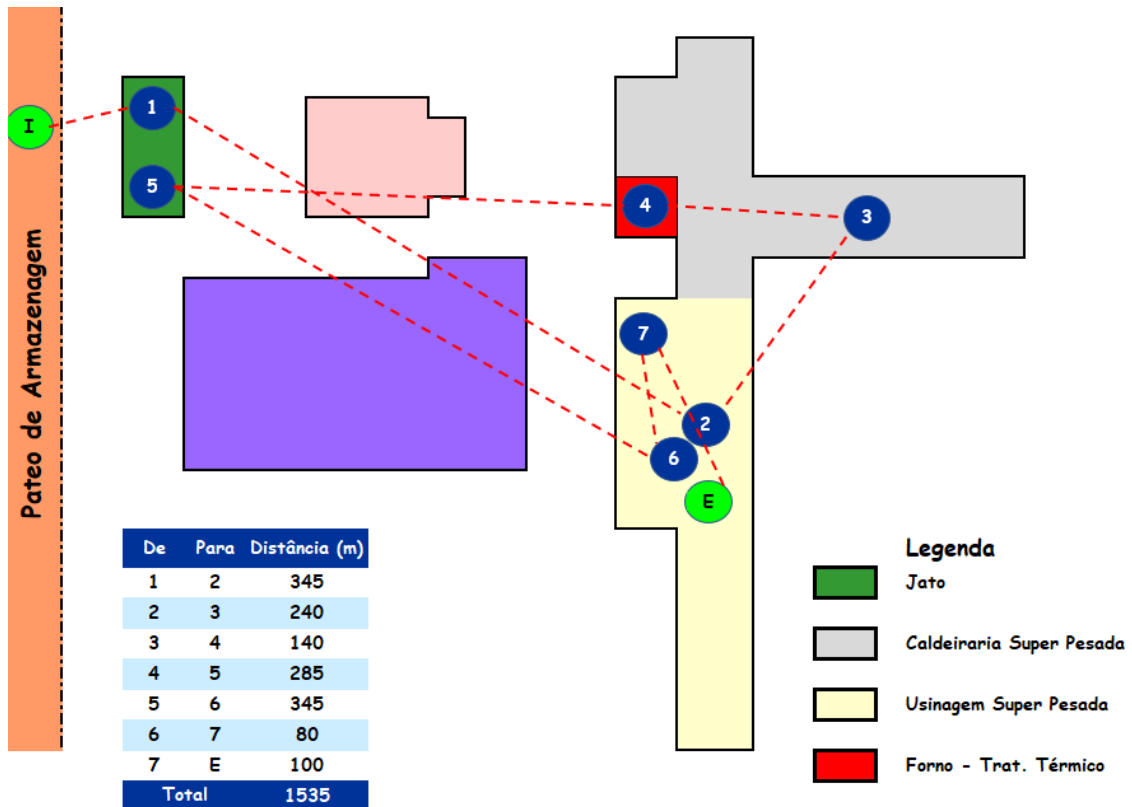
#### **5.4.2. Processo de fabricação atual**

A equipe de projeto acompanhou o roteiro vigente naquele momento e chegou ao seguinte processo de produção:

- ✓ é emitida a ordem de produção e faz-se a movimentação da matéria-prima do pátio de armazenagem para a área de jateamento;
- ✓ é feito o jateamento das partes;
- ✓ o material é deslocado para a área de traçagem na usinagem superpesada para que sejam feitas referências para a montagem do conjunto;
- ✓ é feita a traçagem de referências;
- ✓ o material é deslocado para a montagem de caldeiraria;
- ✓ com o auxílio das referências, são montadas as partes;
- ✓ o conjunto montado é deslocado para a área de soldagem;
- ✓ é executada a soldagem;
- ✓ a peça soldada é deslocada para a área de Tratamento Térmico;
- ✓ é feito o tratamento térmico de alívio de tensões;
- ✓ a peça é deslocada para a área de jateamento;
- ✓ é feito o jateamento;
- ✓ a peça é deslocada para a área de usinagem, torneamento;
- ✓ a peça é torneada;
- ✓ a peça é deslocada para a área de traçagem;
- ✓ são traçadas as referências para execução dos furos para acoplamento nos flanges do eixo;
- ✓ a peça é deslocada para a área de usinagem, mandrilhadora;
- ✓ são executados os furos de acoplamento nos flanges.

A verificação do processo corrente levou ao seguinte mapa de roteiro:

Figura 32 – Percurso da peça no roteiro corrente

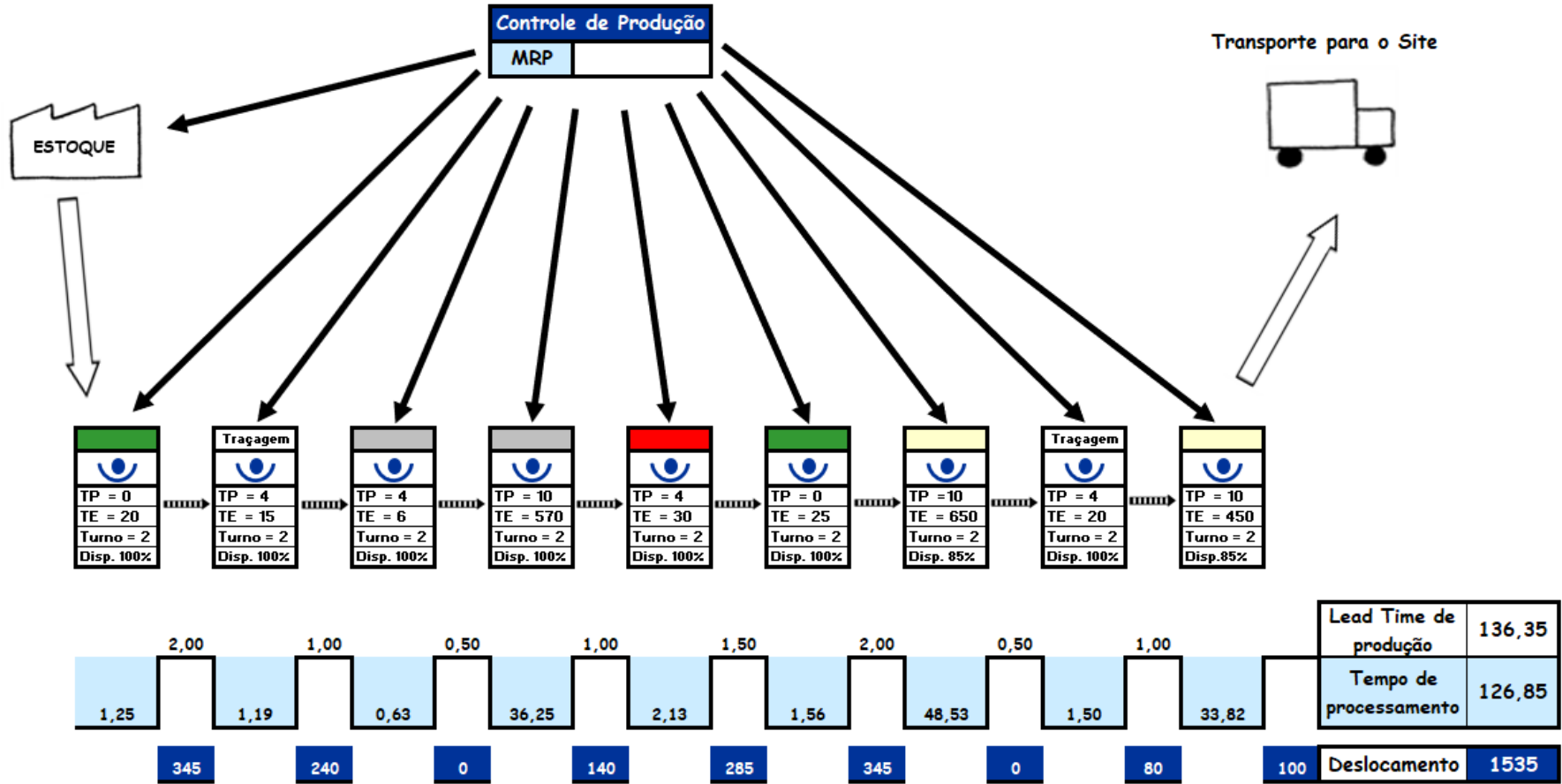


Fonte: elaborado pelo autor.

#### 5.4.3. Mapa de Valor estado atual

Sendo feitas as considerações de disponibilidade de cada recurso, bem como os turnos e suas respectivas jornadas, o Mapa de Valor do estado atual foi desenhado e retratado conforme figura abaixo.

Figura 33 – Mapa da situação atual de fabricação dos Eixos



Fonte: elaborado pelo autor.

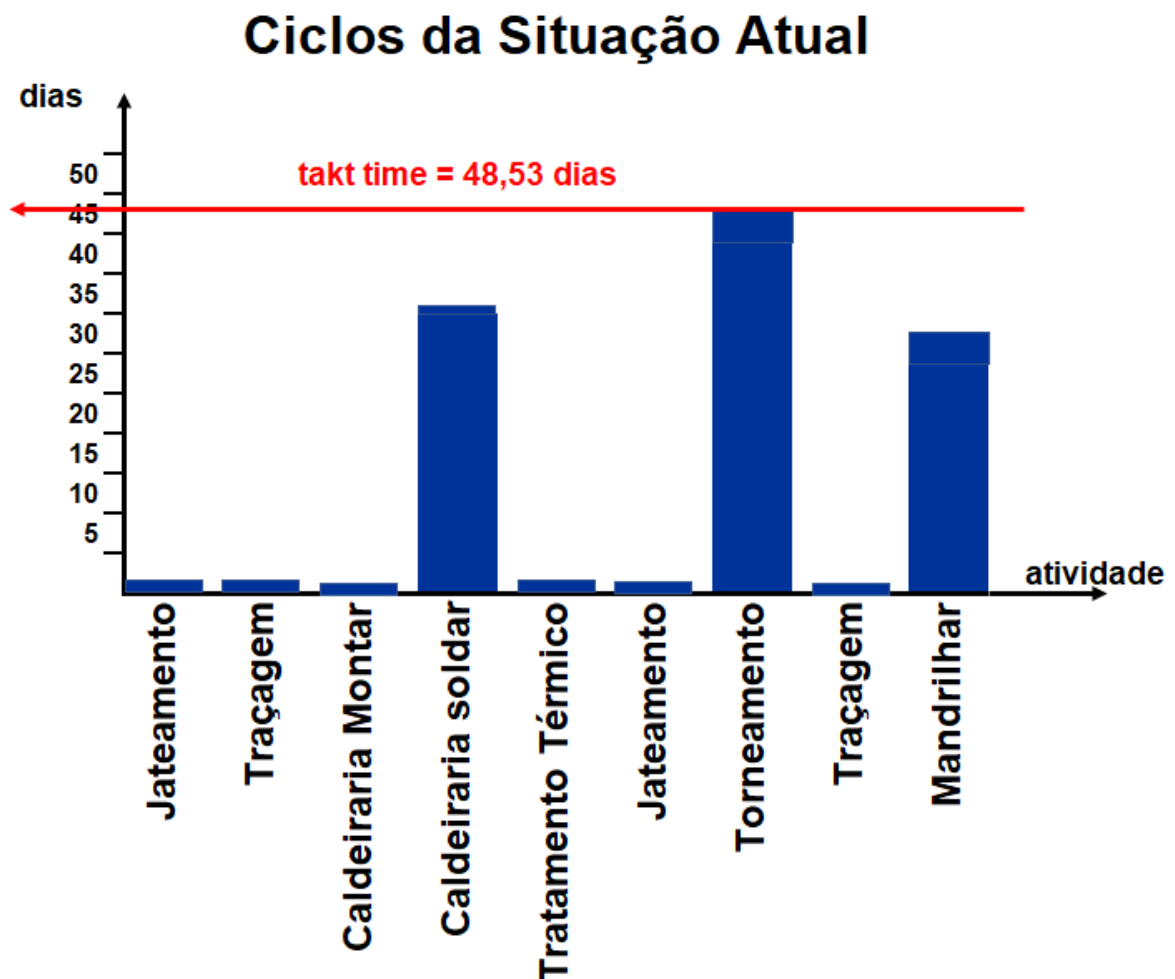
Conforme apurado, o sistema atual analisado tem um *Lead Time* estimado em 136,35 dias, dos quais 9,5 dias somente com Transporte Interno para percorrer um percurso de 1.535m.

É notável que, no sistema, quem coordena e controla a produção é o Departamento de Controle da Produção e a informação deve ser real e atualizada, a fim de não quebrar a sequência e no limite deixar máquinas gargalo de produção ociosas.

#### 5.4.4. *Takt time* estado atual

Com base nas operações e no tempo apurados, chegou-se ao seguinte *takt time* para o cenário corrente.

Gráfico 4 – *Takt time* para cenário atual



Fonte: elaborado pelo autor.

## 5.5. Projetando Mapa de Valor Estado Futuro – VSM

Como foi visto na situação corrente, o gargalo era a operação de torneamento que consumia 48,53 dias do cronograma de execução. Além disso, verificou-se que o trajeto percorrido pelo componente era longo. Por se tratar de um componente extrapesado, 77ton, tornava crítica a operação de transporte tanto do ponto de vista dos equipamentos de levantamento quanto dos operadores que obrigatoriamente tem de ser qualificados.

Buscando uma melhoria no tempo gasto e percurso, estudou-se uma forma de melhoria do *layout*. Montou-se um grupo de Kaizen com os perfis profissionais indicados para o tema, incluindo Operadores de Máquina, Operadores de Ponte Rolante, Técnicos do Métodos e Processos, Técnico de Manutenção, Técnico de Segurança do Trabalho mais o pessoal do time *Lean* para avaliar o problema: diminuir o percurso percorrido bem como o número de vezes em que se dependia da Ponte Rolante.

A conclusão do grupo foi a de aproximar o posicionador de soldagem e o torno horizontal superpesado da mandrilhadora, visto que para o posicionador não seria necessário quaisquer investimentos em fundação e, no caso do torno, esses custos seriam perfeitamente suportáveis se comparado aos ganhos previstos. Já no caso da mandrilhadora, dependeria de alto investimento, além de um tempo de mudança bem maior.

Outra melhoria percebida foi a alteração do ponto de expedição, visto que com pequenos arranjos no *layout* essa ação seria viabilizada. Com essas mudanças, o percurso que antes era de 1.535m passou para 1.125m e a concentração, em apenas um pavilhão das operações de soldagem, usinagem e traçagem, diminuíram a necessidade de utilização das pontes rolantes de 18 para 14 vezes.

Sendo a operação de torneamento o gargalo daquele processo, por se tratar de uma operação que dependia basicamente da máquina, foi proposto e acordado, com o Sindicato de operadores, um regime especial de trabalho no qual pudesse ser explorado todo o tempo disponível de máquina e não apenas o limitado pelos regimes regulares de trabalho. Assim, de um regime com dois turnos de 9h com 1h de intervalo para almoço, passou-se a um regime denominado 12 x 24, em que um operador trabalhava por 12h e descansava 24h. Foi possível mediante a contratação de mais 2 operadores para cobrir a nova jornada.

Para garantir o *run time* da máquina, manter e melhorar a disponibilidade, foi feita uma análise histórica das ocorrências de manutenção nas máquinas, desenvolvido um procedimento padrão de TPM e um treinamento, reciclagem, detalhado com os operadores para essas intervenções, além disso, foi instalado um sistema de controle on-line de *run time*. Um sistema, acoplado ao principal motor da máquina, gera sinal para um coletor de dados que também de forma *real time* disponibiliza aos líderes a verificação do estado da máquina.

Também o sistema ANDON foi instalado de maneira que facilmente líderes e supervisores pudessem avistar qualquer interrupção do trabalho, seja por falta de informação, acidente, problemas de qualidade etc.

### **5.5.1. Processo de fabricação futuro**

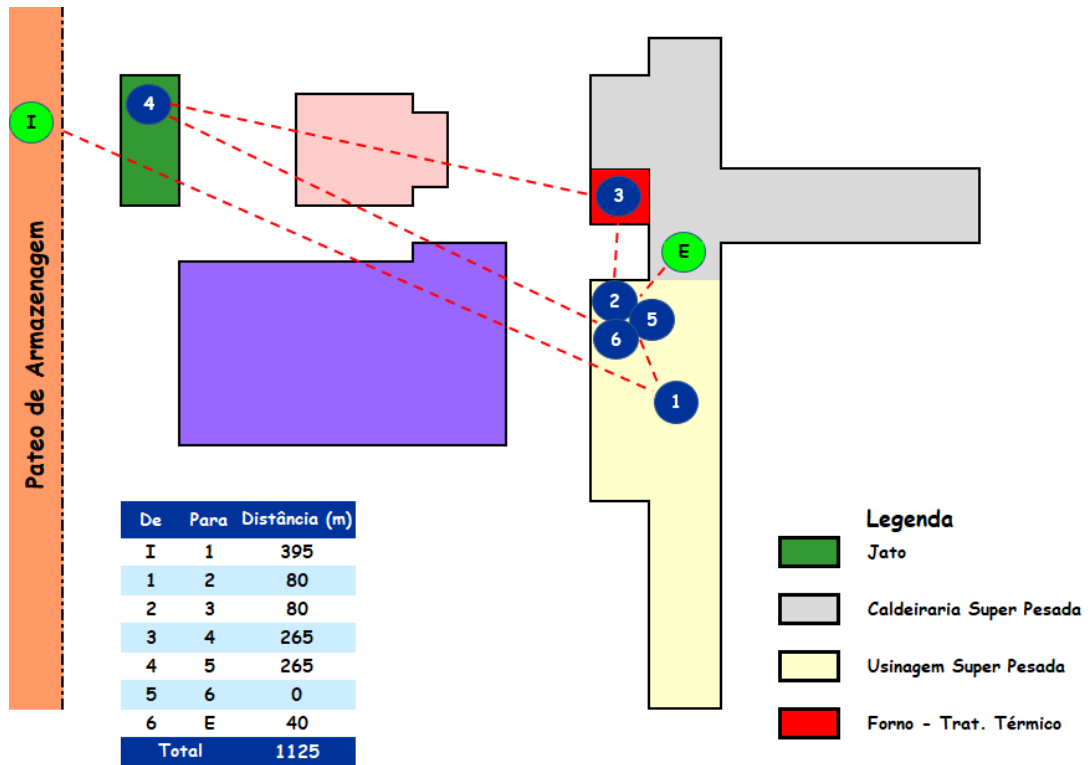
O processo de fabricação projetado futuro ficou definido da seguinte forma:

- ✓ a área de caldeiraria, assim que completa sua operação, emite um Kanban para o planejamento que libera o início de produção de uma nova peça;
- ✓ é emitida a ordem de produção e faz-se a movimentação da matéria-prima do pátio de armazenagem para a área de traçagem;
- ✓ é feita a traçagem de referências para a montagem do conjunto;
- ✓ o material é deslocado para a célula de montagem e soldagem na caldeiraria;
- ✓ com o auxílio das referências, são montadas as partes soldadas;
- ✓ a peça soldada é deslocada para a área de tratamento térmico;
- ✓ é feito o tratamento térmico de alívio de tensões;
- ✓ a peça é deslocada para a área de jateamento;
- ✓ é feito o jateamento;
- ✓ a peça é deslocada para a célula de usinagem;
- ✓ são executados o torneamento e os furos para acoplamento do eixo.

Na FIGURA 34 a seguir, veja o novo mapa de processos e percurso.



Figura 34 – Novo mapa de processos e percursos

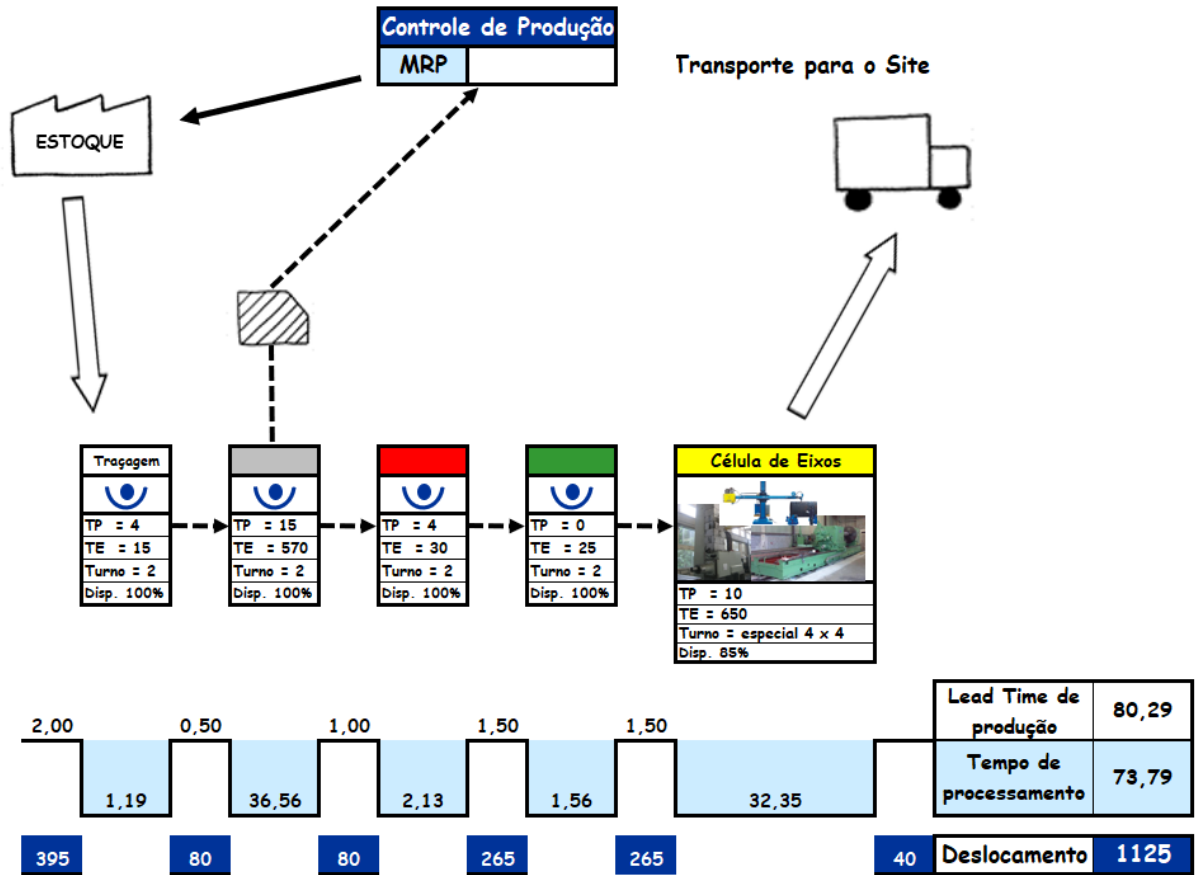


Fonte: elaborado pelo autor.

### 5.5.2. Mapa de Valor estado futuro

Com a nova configuração, o Mapa de Valor Futuro ficou conforme mostra a FIGURA 35.

Figura 35 – Mapa de Valor – Estado Futuro



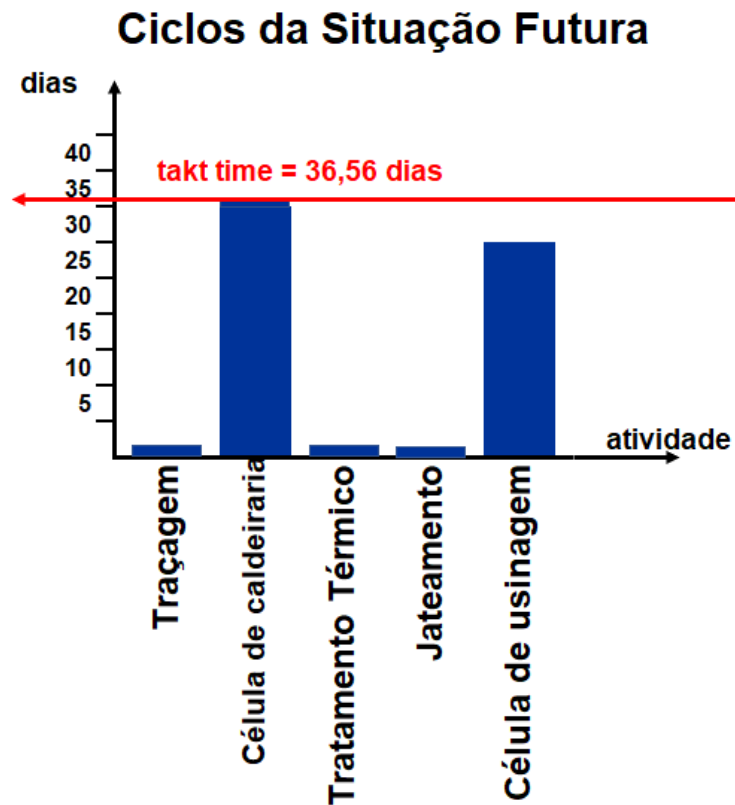
Fonte: elaborado pelo autor.

Com a nova configuração, nosso novo *Lead Time* passaria a 80,29 dias, destes ciclos, 6,5 dias com transporte e o novo deslocamento totalizando 1.125m. O *pacemaker* do processo passou a ser o núcleo de caldeiraria, o qual é incumbido de enviar o Kanban com o propósito de não haver paradas no fluxo do produto.

### 5.5.3. Takt time estado futuro

Com o novo processo e os rearranjos planejados, o novo ciclo ficaria conforme o Gráfico 5 e o *takt time* projetado será de 36,56 dias.

Gráfico 5 – Takt time para estado futuro



Fonte: elaborado pelo autor.

## 5.6. Resultados

Os resultados da implementação podem ser vistos na tabela abaixo:

Tabela 1 – Resultados VSM Atual x Futuro

<b>VSM - Value Stream Mapping</b>			
<b>Item</b>	<b>Mapa Atual</b>	<b>Mapa Futuro</b>	<b>Ganho (%)</b>
<b>Percurso (m)</b>	<b>1535</b>	<b>1125</b>	<b>26,71</b>
<b>Transporte interno (dias)</b>	<b>9,5</b>	<b>6,5</b>	<b>31,58</b>
<b>Lead Time (dias)</b>	<b>136,35</b>	<b>80,29</b>	<b>41,11</b>
<b>Takt time (dias)</b>	<b>48,53</b>	<b>36,56</b>	<b>24,67</b>
<b>Utilização Ponte (quant.)</b>	<b>18</b>	<b>14</b>	<b>22,22</b>

Fonte: elaborado pelo autor.

## 5.7. Validação da Estrutura Proposta

O desenvolvimento da pesquisa-ação se deu conforme a estrutura proposta não requerendo alterações ou inclusões de ações não previstas originalmente.

## 6. DISCUSSÃO

Este Capítulo apresenta uma análise e uma discussão sobre a aplicação do *framework* desenvolvido em uma empresa de bens de capital sob encomenda, ETO.

Há uma farta literatura existente sobre utilização e aplicações da manufatura enxuta quando se trata de produções em alto volume e com pouca variedade, mas pouco se diz a respeito de ETO especificamente, já que, por conta dos princípios que norteiam a manufatura enxuta, faz todo o sentido explorar tais técnicas em manufaturas não seriadas e sugerir a implementação em tais organizações.

Uma análise da situação corrente constatou que algumas práticas não são exclusivas da manufatura enxuta, mas presentes muitíssimo em outros programas utilizados pelas indústrias, a fim de melhorar resultados, quer do ponto de vista de custos, qualidade ou prazos de entrega já fazem parte do dia a dia da empresa em que foi desenvolvida a pesquisa-ação: TQM, 5S, Kaizen, Redução de Setup e TPM, consolidando os achados de Anand e Kodali (2010).

A abordagem sugerida, em nossa pesquisa-ação, demonstrou que as organizações tipo ETO compartilham características com outras como as de produção seriada, o que torna possível implementar técnicas enxutas, mas em graus variados, dependendo da organização em foco.

Equipamentos gargalos, dentro das organizações, merecem atenção especial para que não haja risco de perda de horas produtivas, seja por conta de falha no fluxo de material ou por problemas da qualidade ligados às peças. Dessa forma, há que se considerar sempre um *buffer* em termos de espera nesses tipos de máquina, qualquer eventual ocorrência utiliza esse *buffer* e não perde horas produtivas. Isso contraria um pouco as questões do JIT e do próprio WIP. Em geral, produção de baixo volume e grande variedade não são bons ambientes para se aplicar técnicas como JIT ou de pequeno lote, mas se beneficiam de técnicas como TPM e Kaizen.

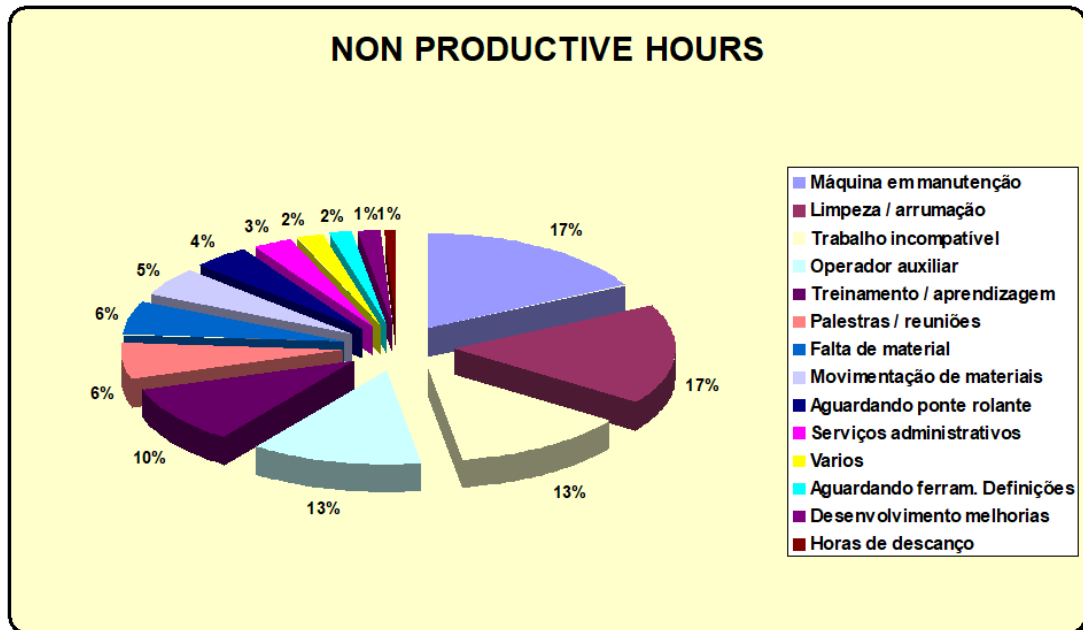
A manufatura enxuta utiliza células de fabricação; e equipamentos específicos para a produção de um determinado produto ou uma família de produtos são organizados em uma área, quando possível. Tal situação ajuda na adoção de um fluxo de uma única peça e, conseqüentemente, a movimentação do material de uma estação de trabalho para outra sem geração do estoque intermediário.

As oportunidades de redução, no ciclo de fabricação, foram o norte do desenvolvimento do mapa futuro na organização, onde ocorreu a pesquisa-ação. As reduções de custos vêm automaticamente com redução da utilização de mão de obra e dos ativos da organização, somadas a questões financeiras com antecipação de recebimentos de *milestones* contratuais e eliminação de possíveis multas por atraso. Mas há que se avaliar, para cada tipo de organização ETO, quais os principais pontos para atuar em um primeiro momento com a redução dos desperdícios. Em uma organização que trabalhe com componentes menores, talvez, não seja o tempo perdido com a movimentação a primeira oportunidade, quiçá, uma atuação nos tempos de preparação, *setup*, mostre-se mais viável.

A pesquisa-ação provocou algum atraso na produção do componente do projeto piloto, contudo, o atraso foi plenamente justificado para se implementar uma melhoria de processo e isso é apoiado por estudos existentes de sequências de iniciativas de melhoria de fabricação. Por meio de uma comparação com a teoria de gerenciamento de operações, as razões pelas quais se pode tolerar que um eventual atraso gerado pela implementação de uma melhoria sejam admissíveis foram discutidas em um trabalho de Åhlström e Karlsson (2000).

Na pesquisa-ação desenvolvida, a redução de custos, mediante a redução da utilização de ponte rolantes, justificou-se da dado ao fato que, nesse tipo de indústria, os componentes são considerados de grande porte. A utilização de pontes rolantes é inevitável, uma vez que se trata de uma atividade que não agrega valor, embora seja necessária e, no caso estudado, é foco de perda de horas produtivas, seja por manutenção delas ou de espera para poder executar a movimentação, o na sequência o GRÁFICO 6.

Gráfico 6 – Horas Improdutivas Mensais – por origem



Fonte: elaborado pelo autor.

No mês estudado, o total de perda de horas, que poderiam ter sido produtivas, foi de 15.150h e, desse total, a movimentação de materiais e a espera por ponte rolante totalizaram 1.384h, o que equivale a aproximadamente 9% do total de horas perdidas.

Na execução do mapa futuro, ficou caracterizada a importância da produção puxada e do *pacemaker*, fundamentais no controle do WIP, ainda que seja necessária uma proteção ao *bottleneck*, conforme descrito anteriormente.

Ainda com relação à busca do aproveitamento total de horas de um equipamento *bottleneck*, o TPM deverá funcionar de modo perfeito, evitando-se paradas não previstas em programação. Da mesma forma, um programa de treinamento e uma matriz de habilidades bem planejada suportam a necessidade eventual de substituição de mão de obra nas células de usinagem.

O trabalho padrão é uma prática importante para que o todo o trabalho seja desenvolvido de forma constante e regular, dado que o ciclo de produção do componente ser longo, a necessária troca de operadores cria pontos de possíveis falhas, quer no processo com a perda de tempo na verificação de medidas, na redundância de medições, até problemas da qualidade em si.

Se compararmos a utilização das práticas e ferramentas aplicadas nessa pesquisa-ação, com a lista elaborada por Anand e Kodali (2010), encontraremos a situação mostrada no QUADRO 3.

Quadro 3 – Contraponto na utilização de técnicas e ferramentas na pesquisa-ação

Sigla	Definição	Utilização na PA	Sigla	Definição	Utilização na PA
PST	Ferramentas para solução de problemas	Sim	ELB	Eliminação de “buffers”	Não
HOK	“House Keeping”, programa 5S	Sim	POK	Pokayoke ou prevenção de defeitos	Sim
EEM	Empoderamento dos colaboradores	Sim	WIP	Redução do inventário em processo	Sim
EPR	Participação dos colaboradores	Sim	SSR	Redução da área de armazenamento	Sim
AND	Andon, Sistema Luminoso de alerta	Sim	QCC	Círculos da qualidade	Sim
JID	Jidoka, autonomia	Não	JEL	Aumento da abrangência de trabalho	Sim
DAS	Auto inspeção	Sim	SYN	Sincronização	Não
SUC	Controle sucessivo	Sim	SIP	Programas de melhoria da segurança	Sim
WST	Trabalho padrão	Sim	PPS	Simplificação de produtos e processos	Sim
PRS	Compartilhamento de processo	Sim	LAY	Mudança de layout, células	Sim
TAK	Takt time	Sim	WLB	Balanceamento das linhas de produção	Não
SUS	Plano de sugestões	Sim	JIT	“Just in time”	Não
MFT	Treinamento multifuncional	Sim	SPC	Controle estatístico de processos	Não
CFT	Times multifuncionais	Não	SMD	“Single minute Exchange of dies”	Sim(1)
MSW	Trabalho multitarefas	Sim	UFM	Utilização de máquinas flexíveis	Não
CTR	Tempo de ciclo e redução do tempo de entrega	Sim	PSM	Nivelamento suave de produção	Não
STC	Containers padronizados	Não	MMS	Modelo de planejamento mixado	Sim
JOR	“Job Rotation” ou flexibilidade de trabalho	Sim	KAN	“Kanban system”	Sim

(1) Não utilizado como SMED mas há ações de redução

Sigla	Definição	Utilização na PA	Sigla	Definição	Utilização na PA
SLP	Lote pequeno de produção	Sim	RRE	Reconhecimento e premiação	Sim
PUL	Produção puxada	Sim	SID	Envolvimento do fornecedor no desenvolvimento do projeto	Não
OPF	Uma peça por vez	Sim	SSO	Redução na matriz de fornecedores	Não
AUT	Automação	Não	LTR	Relacionamento de longo prazo com fornecedores	Sim
GRT	Tecnologia de grupo	Não	NPE	Processos, equipamentos e tecnologias novas	Não
CSP	Padronização de peças	Não	CEM	Manufatura celular	Sim
DFM	“Design for manufacturing”	Sim	TPM	Manutenção produtiva total	Sim
SPR	Proximidade com o fornecedor	Sim	TQM	Gerenciamento total da qualidade	Sim
ISS	Compartilhamento de informações com fornecedores	Sim	CIM	Manufatura integrada por computador	Sim
STD	Treinamento e desenvolvimento de fornecedores	Sim	MSC	Manutenção de peças de reposição	Não
EDI	Utilização de interface digital com fornecedores	Não	COE	Engenharia simultânea	Não
QUC	Certificação de qualidade	Sim			
RPP	Plano de produção master	Sim			
VSM	“Value stream mapping”	Sim			
FFP	Foco na produção	Sim			
CBE	Comunicação entre colaboradores	Sim			
FOS	Estrutura organizacional “flat”	Sim			
LTE	Plano de longo prazo para colaboradores	Sim			

Adaptado de Anand e Kodali (2010).

Dos sessenta e cinco itens listados no trabalho de Anand e Kodali (2010), apenas dezenove não foram aplicados, o que equivale a 29,2%. Considerando esse nível de utilização e os resultados obtidos, entende-se que houve ganhos com a implementação da manufatura enxuta, em contrapartida, de forma alguma, pode-se atribuir a esses resultados um grau específico de utilização das técnicas de manufatura enxuta, a que se considerar trabalhos como os de Lucato *et al.* (2013) e Karim e Zaman (2013) que tratam de maneiras de avaliar o grau de eficiência na utilização de práticas enxutas nas empresas. Os itens não utilizados dizem respeito, especialmente, à produção em indústria de produtos seriados.

O apoio da gerência sênior é crítico e a média gerência precisa ter poderes para desenvolver como implementar. A manufatura enxuta é, verdadeiramente, uma

visão corporativa, no entanto, o roteiro e as ferramentas devem ser desenvolvidos a partir do nível operacional da organização e essa apropriação precisa ser a base de qualquer estrutura de implementação.

## 7. CONCLUSÃO

Considerando-se o princípio básico da manufatura enxuta: eliminação ou redução de quaisquer desperdícios, é admissível afirmar que pode ser aplicada a qualquer setor, seja indústria ou serviços, desde o agronegócio até a indústria de aeronaves, da produção seriada à personalizada, todas se beneficiam dos resultados de uma implementação adequada, de modo a buscar a melhoria e a otimização dos processos.

A literatura evidencia que exemplos de resultados expressivos em termos de desempenho, quando aplicados às técnicas da manufatura enxuta, estão bem documentados, quando se referem às produções de grande volume com uma variedade relativamente baixa.

A revisão dessa mesma literatura demonstrou que não havia nenhum artigo relevante dedicado especificamente à implementação em organizações *engineer-to-order* (ETO) e essa lacuna elucidou a necessidade de se desenvolver uma estrutura para a implementação da manufatura enxuta, levando em consideração as especificidades dessas empresas.

Uma organização, que trabalha em um regime tipo *engineer-to-order* (ETO), lida com projetos nos quais cada produto é único e é desenvolvido e fabricado em comum acordo com a solicitação do cliente. Os requisitos do cliente bem como as necessidades de prazo variam de acordo com o produto. Por consequência, não há a possibilidade de produtos acabados em estoques nem mesmo da matéria-prima que deverá ser adquirida caso a caso. Completando esse quadro, as sequências de trabalho e o tempo de ciclo nos processos de fabricação variam muito, o que torna difícil um balanço adequado do fluxo de trabalho através da produção.

Entre todas as melhorias que a produção enxuta pode trazer às organizações e, em especial, a uma indústria de bens de capital, como a que serviu de base para a validação do *framework* proposto, a redução do prazo de entrega das peças-chave, dentro do contexto do projeto, é importantíssimo na geração dos resultados



financeiros, seja pela redução dos custos operacionais, bem como pela entrada de caixa antecipado por cumprimento de eventos contratuais e no limite pelo afastamento do risco de penalizações por atrasos na entrega do projeto dentro do prazo contratual.

A necessidade constante de melhorar competitividade e rapidez nas respostas, sejam nos termos de qualidade, custos e prazos de entrega, tem, na manufatura enxuta, uma forma de ação para alcançar tais objetivos, mesmo que a organização seja uma indústria por encomenda tipo ETO independentemente de seu porte. A questão é se adequar ao tipo de ferramenta e à prática desenvolvidos pela manufatura enxuta.

Por outro lado, sendo o sistema de manufatura enxuta um projeto de melhoria, cujo principal objetivo é mostrar uma alteração positiva relevante do ponto de vista econômico, é dessa mesma forma que se justificará a inversão de recursos para as necessárias mudanças de processos.

Ou ainda, apesar de tais melhorias serem possíveis tão somente por meio de níveis apropriados de mudança no sistema de trabalho, Langley *et al.* (1996) afirmam que nem toda mudança proposta gera os resultados esperados, conforme ilustra a FIGURA 36.

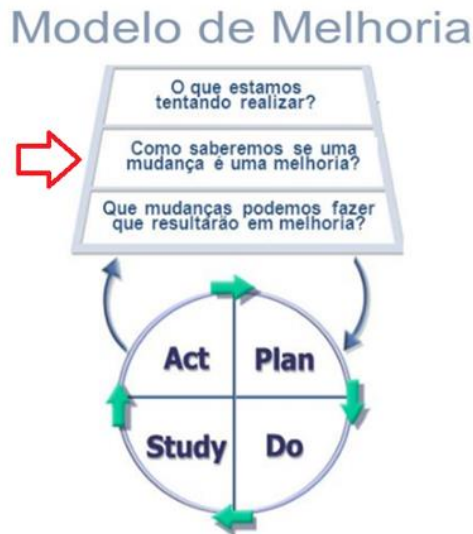
Figura 36 – Mudança e Melhoria



Fonte: adaptado de Langley *et al.* (1996).

Segundo Langley *et al.* (1996, p. 134), o ponto básico é o segundo passo do modelo de melhoria proposto na FIGURA 37: “como saber se uma mudança é uma melhoria?”, nesse ponto, é plausível acrescentar: como devem mostrar os resultados do “novo” processo de forma a que possamos julgar, dentro de critérios previamente estabelecidos e aceitos, se houve ou não uma melhoria comparando-se o “novo” com o “velho”.

Figura 37 – Modelo de Melhoria



Fonte: Langley *et al.* (1996).

No que concerne à questão de pesquisa deste trabalho, os resultados auferidos na pesquisa-ação mostram que a estrutura proposta é eficaz e viável. Independentemente do modelo de implantação da manufatura enxuta a ser seguido, é muito claro que se trata de uma mudança de conceitos, de forma de trabalhar e, mormente, da cultura da organização. Quanto mais inexperiente nos processos de mudança de cultura, mais tempo a empresa levará até que os resultados da manufatura enxuta sejam palpáveis. Ter a mente aberta e pronta para mudanças e uma direção motivada e empenhada de fato nessas mudanças são os primeiros passos para conseguir o êxito em todo o processo.

Assim, o primeiro elemento, que deve estar presente quando da decisão da adoção da manufatura enxuta, é o comprometimento da liderança, desde os líderes diretos até a alta gerência e acionistas. Além disso, as empresas precisam avaliar cuidadosamente quais práticas e ferramentas podem ser usadas de pronto, as que precisam ser adaptadas para atender às circunstâncias específicas e as que não se aplicam.

É válido ressaltar que alguns pontos importantes devem estar presentes, sem os quais provavelmente a implementação da manufatura enxuta não resultará nos benefícios esperados: a Qualidade Total (TQM) e o programa 5S que garante, além da praticidade e facilidade nas operações, os quais implicam diretamente nos resultados da operação e do TQM. Ainda a Manutenção Preventiva Total (TPM) contribui substancialmente na manutenção das disponibilidades de máquinas e da

redução considerável das quebras. Finalmente e acima de tudo o foco no cliente, não perder o foco do que se deve produzir e como, funções definidas pelos clientes.

Outro aspecto relevante é possuir indicadores para monitorar se o caminho percorrido atende ao planejamento estratégico da organização e contribui para a obtenção dos resultados positivos e sua manutenção sempre a buscar a eliminação de desperdícios. Tudo isso adotando as melhores práticas na busca da melhoria contínua suportada por auditorias de cunho proativo.

Este trabalho ajuda a preencher a lacuna existente na teoria no que diz respeito à existência de um *framework* para implementação da manufatura enxuta em empresas tipo *engineer-to-order* (ETO), apresentando a consultores e pesquisadores um quadro eficaz para tal implementação que permite a estes identificar vantagens competitivas inerentes às organizações enxutas. Quanto à prática, o *framework* apresentado e testado apresenta-se de forma prática e objetiva, tornando sua aplicação simples e direta, não requerendo altos investimentos em termos de equipes especialistas, visto que estas devem ser formadas a partir do próprio pessoal da empresa. Os investimentos maiores estão relacionados à mudança de *layouts* para formação de células quando os novos processos assim o requeiram.

Como detalhado ao longo do trabalho, a validação do *framework* proposto se deu por meio de uma pesquisa-ação em uma única organização e utilizou um único componente-chave. Essa situação se expõe como uma limitação do estudo. Apesar disso, os resultados obtidos motivam mais aplicações no sentido de aprimorar e sedimentar as práticas. Outra limitação é o fato de não terem sido envolvidos os fornecedores de matéria-prima e isso se deve ao fato do prazo atrelado à pesquisa-ação, no caso específico o fornecimento do material forjado importado, demandaria algo em torno de seis meses.

Como sugestão de trabalhos futuros, nesta linha de pesquisa, recomenda-se, avaliar a eficácia da estrutura aqui proposta em um ambiente de produção muito mais amplo, alcançando outras indústrias ETO, além de incluir os fornecedores de matéria-prima ou de serviços no escopo de trabalho. Finalmente, concluiu-se que a aplicação das ferramentas e princípios enxutos, em uma empresa que opere nos moldes da empresa estudada, mostra-se válida quando se deseja atender plenamente as necessidades dos clientes bem como trazer os benefícios em termos de redução de custos e prazos além da melhoria dos indicadores da qualidade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS<sup>1</sup>

ABDULMALEK, F.A.; RAJGOPAL, J. Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: a process sector case study, **International Journal of Production Economics**, v. 107, p. 223-236, 2007.

ABDULMALEK, F.A.; RAJGOPAL, J.; NEEDY, L.K., A classification Scheme for the Process Industry to Guide the Implementation of Lean, **Engineering Management Journal**, v.18, n.2, p. 15-25, 2006.

ACHANGA, P.; SHEHAB, E.; ROY, R.; NELDER, G. Critical success factors for lean implementation within SMEs. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v..17, n. 4, p. 460-471, 2006.

ADAMS, M.; COMONANTON, P.; CZARNECKI, H.; SCHROER, B.J. Simulation as a tool for continuous process improvement, in **Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference**, eds. P. A. Farrington, H. B. Nembhard, D. T. Sturrock and G. W. Evans, p. 766-773, 1999.

ÅHLSTRÖM, P. Sequences in the Implementation of Lean Production. **European Management Journal**, v.16(3), p. 327-334, 1998.

ÅHLSTRÖM, P.; KARLSSON, C. Sequences of manufacturing improvement initiatives: the case of delayering, **International Journal of Operations & production Management**, v.20, n.11, p. 1259-1277, 2000.

AKAO, Y.; MAZUR, G.H. The leading edge in QFD: past, present and future, **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 20, n. 1, p. 20-35, 2003.

ANAND, G.; KODALI, R. Analysis of lean manufacturing frameworks. **Journal of Advanced Manufacturing Systems**, v.1(9), p. 1-30; 2010.

ANEEL, **Agência Nacional de Energia Elétrica**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/glossario>>. Acesso em: 20 de fev. 2019.

ANVARI, A.; ZULKIFLI, N.; YUSUFF, R. M.; ISMAIL, Y.; HOJJATI, S. H. A proposed dynamic model for a lean roadmap, **African Journal of Business Management**, v.5, p. 6727-6737, 2011.

ARGYRIS, C.; SCHON, D. **Theory in practice**, San Francisco: Jossey Bass, 1974.

ARGYRIS, C. **Teaching Smart People How to Learn**, Harvard Business Review on Knowledge Management, Harvard Business School Press, Boston, MA, 1992.

BAKER, P. Why is lean so far off? **Works Management**, v.55, p. 26-29, 2002.

---

<sup>1</sup> De acordo com a Associação Brasileira de Normas e Técnicas (ABNT NBR 6023).

BAMBER, L.; DALE, B. G. Lean production: A study of application in a traditional manufacturing environment, **Production Planning & Control**, v.11, p. 291-298, 2000.

BARKER, B. The identification of factors affecting change towards best practice in manufacturing organizations, **Management Decision**, v.36, p. 549-556, 1998.

BEHROUZI, F.; WONG, K. Y. Lean performance evaluation of manufacturing systems: A dynamic and innovative approach. **Procedia Computer Science**, v.3, p. 388-395, 2011.

BELHADI, A.; TOURIKI, F. E.; FEZAZI, S. A Framework for Effective Implementation of Lean Production in Small and Medium-sized Enterprises. **Journal of Industrial Engineering and Management**, v.9(3), p. 786-810, 2016.

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

BHAMU, J. K., SANGWANG, K.S., A Framework for lean manufacturing implementation, **International Journal of Services and Operations Management**, v.25, n.3, p. 313-333, 2016.

BHASIN, S. Lean and performance measurement. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 19, n. 5, p. 670-684, 2008.

BLACKBURN, R.; ROSEN, B. Total quality and human resources management: lessons learned from Baldrige Award-winning companies, **Academy of Management Executive**, v.7(3), p. 49-66, 1993.

BLANCHARD, K.; Carlos, J.P.; Randolph, A. **Empowerment Takes More Than a Minute**, 2nd ed., San Francisco, Berrett-Koehler Publishers, 2001.

BOYER, K. K. An assessment of managerial commitment to lean production, **International Journal of Operations & Production Management**, v.16, p. 48-59, 1996.

BROWN, A.; DOWLING, P. **Doing research/reading research: a mode of interrogation for teaching**. London: Routledge Falmer, 2001.

CHAN, L.; WU, M. Quality function deployment: a literature review, **European Journal of Operational Research**, v. 143, n. 3, p. 463-497, 2002.

COOPER, H. M. Organizing knowledge syntheses: A taxonomy of literature reviews, **Knowledge in Society**, 1, p. 104-1026, 1988.

CORIAT, B. **Technical flexibility and mass production: flexible specialization and dynamic flexibility**. In: G. Benk and M. Dunford, eds. *Industrial change and regional development*. London: Belhaven Press, p. 134-158, 1991.

COTTYN, J.; VAN LANDEGHEM, H.; STOCKMAN, K.; DERAMMELAERE, S. A method to align a manufacturing execution system with Lean objectives, **International Journal of Production Research**, v.49, p. 4397-4413, 2011.

COUGHALAN, P.; COGHLAN, D. Action research for operation management, **International Journal of Operations and Production Management**, v.22, n.2, p. 220-240, 2002.

CRUTE, V.; WARD, Y.; BROWN, S.; GRAVES, A. Implementing Lean in aerospace – Challenging the assumptions and understanding the challenges, **Technovation**, v.23, p. 917-928, 2003.

DALE, B.G. **Managing Quality**. Oxford: Blackwell Publishers, 1999.

DANIEL, D.R. Management Information Crisis, **Harvard Business Review**, v.39(5), p. 111-121, 1961.

DEMING, W.E, Out of the Crisis, **Massachusetts Institute of Technology (MIT)**, Center for Advanced Engineering Study, Cambridge, MA, 1986.

DENNIS. P. **Lean Production Simplified**. Third Edition, NY: Taylor and Francis Group, 2015.

DAVIES, C.; GREENOUGH, R. M. Maintenance survey — identification of lean thinking within maintenance. In: **Proceedings of the 17th National Conference on Manufacturing Research**, Cardiff, UK, p. 37-42, 2001.

DETTY, R.B.; YINGLING, J.C. Quantifying benefits of conversion to lean manufacturing with discrete event simulation: A case study, **International Journal of Production Research**, v.38(2), p. 429-445, 2000.

DOMBROWSKI, U.; ZAHN, T. Design of a lean development framework, **IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management**, Singapore, 6-9 December, p.1917, 2011.

DRAGO, W.; GEISLER, E., Business process re-engineering: lessons from the past, **Industrial Management and Data Systems**, v.97, n.8, p. 297, 1997.

DRUKER, P.F. **The Coming of the New Organization**. In: Harvard Business Review on Knowledge Management, Harvard Business Scholl Press, Boston, MA, p.1-20, 1998.

EMILIANI, M.L., Origins of lean management in America-the role of Connecticut businesses. **Journal of Management History**, v. 12, n. 2, p. 167-184, 2006.

FELD, W. **Lean Manufacturing: Tools, Techniques, and How to Use Them**, FL Boca Raton, St. Lucie Press, 2000.

FREEMAN, C.; PEREZ, C. Structural crisis of adjustment: business cycles and investment behavior, **Technical Change and Economic Behavior**, London, G. Dosi Ed., 1988.

FUJIMOTO, T.; SHIMOKAWA, K.; JURGENS, U. **Transforming Automobile Assembly: Experience in automation and work organization**, Springer, Berlin, 1997.

GARVIN, D. A. **Learning in Action**, Harvard Business School Press, Boston, M.A., 2000.

GOULDNER, A.W. The norm of reciprocity: a preliminary statement, **American Sociological Review**, v. 25, n. 2, p. 161-178, 1960.

GRUNDY, S. J.; KEMMIS, S. **Educational action research in Australia: the state of the art**, Geelong, Deakin University Press, 1982.

GUHA, S.; GROVER, V.; KETTINGER, W.; TENG, J. Business process change and organizational performance: exploring and antecedent model. **Journal of Management Information Systems**, v.14, n.1, p. 119-54, 1997.

HARRISON, A.; STOREY, J. New wave manufacturing strategies: operational, organizational and human dimensions, **International Journal of Operation & Production Management**, v. 16, n. 2, p. 63-76, 1996.

HENEMAN, R.L.; HIPPEL, V.C. Balancing group and individual rewards: rewarding individual contributions to the team, **Compensation and Benefits Review**, v. 27, n. 4, p. 63-68, 1995.

HINES, P.; RICH, N., The seven value stream mapping tools, **International Journal of Operations and Production management**, v.17, n.1, p. 46-64, 1997.

HU, S. J. **Envolving Paradigms of Manufacturin : From Mass Production to Mass Customization and Personalization**, Forty Sixth CIRP Conference on Manufacturing Systems 2013, SciVerse ScienceDirect. Retrieved from: [www.elsevier.com/locate/procedia](http://www.elsevier.com/locate/procedia).

IMAI, M. Gemba Kaizen: **A Commonsense, Low-Cost Approach to Management**, New York, USA, McGraw-Hill, 2007.

ITAIPU, **Itaipu Hydroelectric Project – Engineering Features**, Itaipu Binacional, Curitiba, PR, Brazil, 1994

JINA, J.; BHATTACHARYA, A.K.; WALTON, A.D. Applying lean principles for high product variety and low volumes: some issues and propositions, **Logistics Information Management**, v. 10, n. 1, p. 5-13, 1997.

KARIM, A.; ZAMAN, K. A methodology for effective implementation of lean strategies and its performance evaluation in manufacturing organizations, **Business Process Management Journal**, v.19(1), p. 169-196, 2013.

KARLSSON, C.; ÅHLSTRÖM, P. Change processes towards lean production: The role of the remuneration system, **International Journal of Operations & Production Management**, v. 15 p. 80-99, 1995.

KARLSSON, C.; ÅHLSTRÖM, P. Assessing changes towards lean production, **International Journal of Operations & Production Management**, v.16, p. 24-41, 1996.

KERZNER, H. **Gestão de Projetos – as melhores práticas**. São Paulo: Artmed, 2002.

KETTINGER, W; GROVER, V., Toward a theory of business process change management. **Journal of Management Information Systems**, v. 12, n. 1, p. 1-30, 1995.

KNUF, J. Benchmarking the lean enterprise: organizational learning at work. **Journal of Management in Engineering**, v. 16, n. 4, p. 58-71, 2000.

KOGUT, B.; ZANDER, U. **Knowledge of the Firm, Combinative Capabilities, and the Replication of Technology**, *Organization Science*, v.3, n. 2, p. 383-397, 1992.

LANGLEY, G.J.; MOEN, R.D.; NOLAN, K.M.; NOLAN, T.W.; NORMAN, C.L.; PROVOST, L.P., **The Improvement Guide: A practical approach to enhancing organizational performance**. San Francisco, EUA: Jossey-Bass, 1996.

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

LUCATO, W.C.; CALARGE, F.A.; LOUREIRO JÚNIOR, M.; CALADO, R.D. Performance evaluation of lean manufacturing implementation in Brazil. **International Journal of Productivity and Performance Management**. v. 63, n. 5, p. 529-549, 2014.

LUO, W.; TUNG, A. A framework for selecting business process models. **Industrial Management and Data Systems**, v.99, n.7, p. 312-19, 1999.

MARVEL, J. H.; STANDRIDGE, C. R. Simulation-enhanced lean design process. **Journal of Industrial Engineering and Management**, v.2, p. 90-113, 2009.

MATT, D.T. Adaptation of the value stream mapping approach to the design of lean engineer-to-order production systems. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v.25(3), p.334-350, 2013.

MCNIFF, J. Action research for professional development: concise advice for new action researchers. Disponível em: <<http://www.jeanmcniff.com/ar-booklet.asp>>. Acesso em: nov. 2018.

MELLO, C.H.P.; TURRIONI, J.B.; XAVIER, A.F., CAMPOS, D.F. Pesquisa-ação na engenharia de produção: proposta de estruturação para sua condução, **Produção**. v.22, n.1, p. 1-13, 2012.



MOHANTY, R.P.; YADAV, O.P.; JAIN, R. Implementation of lean manufacturing principles in auto industry, Vilakshan. **XIMB Journal of Management**, p. 1-32, 2007.

MONDEN, Y. **Sistema Toyota de Produção: uma abordagem integrada ao just-in-time**. 4. ed. São Paulo: Bookman, 2012.

MORGAN, J.M.; LIKER, J.K. The Toyota Product Development System, integrating people, process and technology, New York, USA, Productivity Press, 2006.

MOSTAFA, S.; DUMRAK, J., SOLTAN, H. A framework for lean manufacturing implementation. **Production & Manufacturing Research: An Open Access Journal**, v.1, p. 44-64; 2013.

MOTWANI, J. A business process change framework for examining lean manufacturing: A case study, **Industrial Management & Data Systems** v.103, p. 339-346, 2003.

MURPHY, K. **Performance Measurement, Evaluation, and Incentives**, Boston, Bruns Jr., W.J. (Ed.), Harvard Business School Press, 1992.

NELSON, R. R.; WINTER, S. G. **An Evolution Theory of Economic Change**, Belknap Press, Cambridge, MA, 1982.

NIGHTINGALE, D. J.; MIZE, J. H. Development of a lean enterprise transformation maturity model, **Information, Knowledge, Systems Management**, v.3, p.15-30, 2002.

NORDIN, N.; DEROS, B.; WAHAB, D.A.; RAHMAN, M.N.A. A framework for organizational change management in lean manufacturing implementation. **International Journal of Services and Operations Management**, v.12, n.1, p. 101-117, 2012.

OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção, além da produção em larga escala**. Porto Alegre: Bookman, 1997.

PANIZZOLO, R.; GARENCO, P.; SHARMA, M.K.; GORE, A. Lean manufacturing in developing countries: evidence from Indian SMEs, **Production Planning & Control**, v. 23, n. 10/11, p. 769-788, 2012.

PAVNASKAR, S.J.; GERSHENSON, J.K.; JAMBekar, A.B. Classification scheme for lean manufacturing tools, **International Journal Production Research**, v. 41, n. 13, p. 3075-3090, 2003.

PIERCY, N.; RICH, N. Lean transformation in the pure service environment: the case of the call service centre, **International Journal of Operations & Production Management**, v. 29, n. 1, p. 54-76, 2009.

POLLITT, D. Culture change makes Crusader fit for the future: Training in lean manufacturing helps to transform company, **Human Resource Management International Digest**, v.14, p. 11-14, 2006.

PONT, G.D.; FURLAN, A.; VINELLI, A. Interrelationships among lean bundles and their effects on operational performance. **Operations Management Research**, v.1(2), p.150-158, 2008.

POWELL, D.; ALFNES, E.; STRANDHAGEN, J. O.; DREYER, H. The concurrent application of lean production and ERP: Towards an ERP-based lean implementation process, **Computers in Industry**, v.64, p. 324-335, 2013.

POWELL, D.; STRANDHAGEN, J.O.; TOMMELEIN, I.; BALLARD, G.; ROSSI, M. A. (2014) New Set of Principles for Pursuing the Lean Ideal in Engineer-to-Order Manufacturers, ScienceDirect. Retrieved from: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/>.

PUVANASVARAN, P.; MEGAT, H.; HONG, T.S.; RAZALI, M.M.; MAGID, H.A. Lean process management implementation through enhanced problem-solving capabilities. **Journal of Industrial Engineering and Management**, v.3(3), p. 447-493, 2010.

REASON, P.; BRADBURY, H., **The SAGE Handbook of Action Research Participative Inquiry and Practice**. Second Edition. London: Sage Publications, 2001.

RIVERA, L.; CHEN, F. Measuring the impact of Lean tools on the cost–time investment of a product using cost–time profiles. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, v.23, p. 684-689, 2007.

RODRIGUES, M., V. **Entendendo, Aprendendo e Desenvolvendo, Sistema de Produção Lean Manufacturing**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.

ROTHER, M.; SHOOK, J. **Learning to See – Value-Stream Mapping to Create Value and Eliminate Muda**, Lean Enterprise Institute, Cambridge, MA, USA, 2009.

SANCHEZ, A.M.; PEREZ, M.P. Lean indicators and manufacturing strategies, **International Journal of Operations & Production Management**, v. 21, n. 11, p. 1433-1451, 2001.

SANGWANG, K.S.; BHAMU, J.; MEHTA, D. Development of lean manufacturing implementation drivers for Indian ceramic industry, **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 63, n. 5, p. 569-587, 2014.

SCHERRER-RATHJE, M.; BOYLE, T. A.; DEFLORIN, P. Lean, take two! Reflections from the second attempt at lean implementation, **Business Horizons**, v.52, p.79-88, 2009.

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

SIEGRIST, J. Adverse health effects of high-effort/low-reward conditions. **Journal of Occupational Health Psychology**, v. 1, n. 1, p. 27-41, 1996.

SINGH, B.; SHARMA, S.K. Value stream mapping as a versatile tool for lean implementation: an Indian case study of a manufacturing firm. **Measuring Business Excellence**, v. 13, n. 3, p. 58-68, 2009.

SIPPER, D.; BULFIN, R. **Production: planning, control and integration**, NY, McGraw-Hill, 1977.

SLACK, N. **Vantagem Competitiva em Manufatura**, São Paulo, Editora Atlas, 2002  
SMDES, R. Managing change towards lean enterprises, **International Journal of Operations & Production Management**, v.14, p.66 –82, 1994.

SMITH, A. **A Riqueza das Nações: Uma investigação sobre a natureza e as causas da riqueza das nações**. 1. ed. UK: Universidade de Glasgow, 1776.

STEARNS, P. N. **The Industrial Revolution in World History**. Fourth Edition. CO, EUA: Westview Press, 2013.

STORCH, R.L.; LIM, S. Improving flow to achieve lean manufacturing in shipbuilding, **Production Planning and Control**, v. 10, n. 2, p.127-137, 1999.

TAYLOR, D; BRUNT, D. **Manufacturing Operations**, London: Thompson, 2001.

THIOLLENT, M. **Pesquisa-Ação nas Organizações**. São Paulo: Atlas, 1997.

TRIPP, D. Pesquisa-ação: uma introdução metodológica. **Educação e Pesquisa** São Paulo, v.31, n.3, p. 443-446, 2005.

VERGARA, S.C. **Projetos e relatórios de Pesquisa em Administração**. 16. ed. São Paulo: Atlas, 2016.

WARD, A.C.; LIKER, J.K.; CRISTIANO, J.J.; SOBEK, D.K, **The Second Toyota Paradox; How Delaying Decisions can make Better Cars Faster**. Sloan Management Review, v. 36, n.3, p. 43-61, 1995.

WOMACK, J.P.; JONES, D.T. **Lean thinking – Banish waste and create wealth in your corporation**. New York: Simon & Schuster, 1996.

WOMACK, J.P.; JONES, D.T.; ROOS D. **The machine that changed the world. How Lean Production Revolutionized the Global Car Wars**. United Kingdom: Simon & Schuster, 1988.

WORLEY, J. M.; DOOLEN, T. L. The role of communication and management support in a lean manufacturing implementation, **Management Decision**, v.44, p. 228-245, 2006.

ZHOU, J.; ZHANG, Q.; WANG, X.; XIAO, H. Lean System Design for Engineer-to-order Manufacturing, **J. Shanghai Jiaotong University and Springer-Verlag Berlin Heidelberg**, v.21(6), p. 702-712, 2016.