

UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**ANÁLISE DO AUMENTO DA PRODUTIVIDADE EM PROCESSOS DE
MANUFATURA POR MEIO DA APLICAÇÃO DE AUTOMAÇÃO
BASEADA NO CONCEITO DE KARAKURI**

RAFAEL DE CASTRO VICENTE

ORIENTADOR: PROF. DR. ANDRÉ LUÍS HELLENO

SANTA BÁRBARA D'OESTE

2018

UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**ANÁLISE DO AUMENTO DA PRODUTIVIDADE EM PROCESSOS DE
MANUFATURA POR MEIO DA APLICAÇÃO DE AUTOMAÇÃO
BASEADA NO CONCEITO DE KARAKURI**

RAFAEL DE CASTRO VICENTE

ORIENTADOR: PROF. DR. ANDRÉ LUÍS HELLENO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, da Faculdade de Engenharia Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Metodista de Piracicaba – UNIMEP, como requisito para obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Produção.

SANTA BÁRBARA D'OESTE

2018

Ficha Catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas da UNIMEP
Bibliotecária: Marjory Harumi Barbosa Hito - CRB-8/9128.

V632a	<p>Vicente, Rafael de Castro</p> <p>Análise do aumento da produtividade em processos de manufatura por meio da aplicação de automação baseada no conceito de Karakuri / Rafael de Castro Vicente. – 2018. 75 f. : il. ; 30 cm.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. André Luis Helleno. Dissertação (Mestrado) – Universidade Metodista de Piracicaba, Engenharia de Produção, Santa Bárbara d'Oeste, 2019.</p> <p>1. Automação Industrial. 2. Produtividade. 3. Processos de Fabricação. I. Helleno, André Luis. II. Título.</p> <p>CDU – 658.5</p>
-------	--

AGRADECIMENTOS

“A Deus, em primeiro lugar, pois quando pensei em desistir Ele sempre esteve lá mesmo quando perdi a fé por várias vezes”

“Agradeço às minhas filhas Manuela e Helena que cederam o tempo que seriam delas para que este trabalho fosse feito. ”

“Ao meu orientador Prof. Dr. André Helleno, que teve paciência e compreensão com todas as situações adversas que passei durante este trabalho. ”

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	I
LISTA DE FIGURAS	II
LISTA DE TABELAS	IV
LISTA DE QUADROS	V
RESUMO	VI
ABSTRACT	VII
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. OBJETIVO.....	3
1.2. METODOLOGIA DE PESQUISA.....	3
1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	5
2. REVISÃO DA LITERATURA	6
2.1. MANUFATURA ENXUTA	6
2.2. AUTOMAÇÃO DA MANUFATURA ENXUTA	15
3. MÉTODO DE PESQUISA	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	35
4.1. CASO 1 - CÉLULA DE MANUFATURA DE INJEÇÃO PLÁSTICA 1.....	35
4.2. CASO 2 - CÉLULA DE MANUFATURA B.....	43
4.3. CASO 3 - CÉLULA DE MANUFATURA C.....	49
5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA PRÓXIMOS TRABALHOS.....	57
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

LM – *Lean Manufacturing*

STP – Sistema Toyota de Produção

LCA – *Low Cost Automation*

AGV – *Auto Guided Vehicle*

MTTR – *Mean Time to Repair*

LT - *Lead Time*

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: ETAPAS PARA CONDUÇÃO DO ESTUDO DE CASO. FONTE: PRÓPRIO AUTOR.	4
FIGURA 2: AS QUATRO CATEGORIAS DO MODELO TOYOTA. FONTE: LIKER (2004).....	8
FIGURA 3: OS DOIS PILARES DO SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO (STP)	12
FIGURA 4: TEMPO DE OPERAÇÃO DO EQUIPAMENTO EM 1 CICLO. FONTE: PRÓPRIO AUTOR.	14
FIGURA 5: EXEMPLO DE SERU . FONTE (MIYAKE 2006).	16
FIGURA 6: RECONFIGURAÇÃO DE LINHA DE PRODUÇÃO PARA CONCEITO SERU. FONTE (LIU 2013).	17
FIGURA 7: DESENVOLVIMENTO DE PROJETO NO ESTUDO DE CASO MENCIONADO PELOS AUTORES. FONTE (ZAFARZADEH E JACKSON, 2013).	18
FIGURA 8: DIAGRAMA DE MOVIMENTOS E ELEMENTOS DE TRANSFERÊNCIA DE FORÇAS. FONTE: (JIPM 2009)	22
FIGURA 9: EXEMPLO DE CONCEITO KARAKURI PARA MOVIMENTAÇÃO DE CAIXAS PARA ABASTECIMENTO. FONTE: (MASIN, 2016).....	26
FIGURA 10: ESTAÇÕES DE TRABALHO PRÓXIMAS COM MANUSEIO DE PEÇAS.....	27
FIGURA 11: ESTAÇÕES DE TRABALHO PRÓXIMAS COM MANUSEIO DE PEÇAS POR MEIO DE KARAKURI.....	27
FIGURA 12: EXEMPLO DE USO DE ESTEIRAS MOVIDAS POR CORRENTES PARA SACOS E EMBALAGENS DE VEGETAIS. FONTE: (MAŠÍN 2016)..	28
FIGURA 13: <i>DISTRIBUIÇÃO DOS TEMPOS PADRÃO DE PROCESSOS. FONTE: PRÓPRIO AUTOR</i>).	32
FIGURA 14: FLUXO DE PEÇAS DA CÉLULA DE MANUFATURA DE INJEÇÃO PLÁSTICA. FONTE: PRÓPRIO AUTOR	35
<i>FIGURA 15: FLUXO DE PEÇAS DA CÉLULA DE MANUFATURA DE INJEÇÃO PLÁSTICA. FONTE: PRÓPRIO AUTOR.</i>	37
FIGURA 16: DISTRIBUIÇÃO PADRÃO DE INJEÇÃO PLÁSTICA APÓS APLICAÇÃO DE KAIZEN PARA ELIMINAÇÃO DE DESPERDÍCIO. FONTE: PRÓPRIO AUTOR	38
FIGURA 17: ESTRUTURA INSTALADA DO CONCEITO KARAKURI. FONTE: PRÓPRIO AUTOR.	40
FIGURA 18: PASSOS PARA ILUSTRAÇÃO DO FLUXO DE MOVIMENTOS DO CONCEITO KARAKURI. FONTE: PRÓPRIO AUTOR.....	41
FIGURA 19: FLUXO DE PEÇAS DA CÉLULA DE MANUFATURA DE INJEÇÃO PLÁSTICA COM O CONCEITO KARAKURI. FONTE: PRÓPRIO AUTOR	41
FIGURA 20: DISTRIBUIÇÃO PADRÃO DE INJEÇÃO PLÁSTICA APÓS APLICAÇÃO DE KAIZEN PARA ELIMINAÇÃO DE DESPERDÍCIO. FONTE: PRÓPRIO AUTOR	42
FIGURA 21: DISTRIBUIÇÃO PADRÃO DE TEMPOS DO PROCESSO DO CASO 2. FONTE: PRÓPRIO AUTOR	45
FIGURA 22: PROCESSO DE MANUFATURA TRANSFORMAÇÃO DE FIOS DE COBRE PARA FABRICAÇÃO DE INDUZIDO APÓS IMPLEMENTAÇÃO DE CONCEITO KARAKURI. FONTE: PRÓPRIO AUTOR.	47

FIGURA 23: DISTRIBUIÇÃO PADRÃO DE TEMPOS DO PROCESSO DO CASO 2. FONTE: PRÓPRIO AUTOR	48
FIGURA 24: FLUXO DE PEÇAS DA CÉLULA DE MANUFATURA DE INJEÇÃO PLÁSTICA. FONTE: PRÓPRIO AUTOR.	49
FIGURA 25: Distribuição padrão de tempos do processo do caso 3. FONTE: próprio autor.....	51
FIGURA 26: DISTRIBUIÇÃO PADRÃO DE TEMPOS DO PROCESSO DO CASO 3 APÓS ATIVIDADE DE REDUÇÃO DE DESPERDÍCIOS. FONTE: PRÓPRIO AUTOR	52
FIGURA 27: CONCEITO KARAKURI APLICADO Á CÉLULA DE MANUFATURA DO CASO 3. FONTE: PRÓPRIO AUTOR.....	53
FIGURA 28: CONCEITO KARAKURI APLICADO Á CÉLULA DE MANUFATURA DO CASO 3. FONTE: PRÓPRIO AUTOR.....	54
FIGURA 29: DISTRIBUIÇÃO PADRÃO DE TEMPOS DO PROCESSO DO CASO 3 APÓS ATIVIDADE DE REDUÇÃO DE DESPERDÍCIOS. FONTE: PRÓPRIO AUTOR	55

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: CARACTERIZAÇÃO DA CÉLULA DE MANUFATURA A SER ESTUDADA. FONTE: PRÓPRIO AUTOR.	29
TABELA 2: CARACTERIZAÇÃO DAS OPERAÇÕES DO PROCESSO DE INJEÇÃO, RECURSOS, TEMPO DE CICLO E AÇÕES. FONTE: PRÓPRIO AUTOR. ...	36
TABELA 3: CARACTERIZAÇÃO DAS OPERAÇÕES DO PROCESSO DE INJEÇÃO, RECURSOS, TEMPO DE CICLO E AÇÕES DEPOIS DA APLICAÇÃO DO CONCEITO KARAKURI. FONTE: PRÓPRIO AUTOR.	43
TABELA 4: PROCESSO DE MANUFATURA TRANSFORMAÇÃO DE FIOS DE COBRE PARA FABRICAÇÃO DE INDUZIDO. FONTE: PRÓPRIO AUTOR.	44
TABELA 5: CARACTERIZAÇÃO DAS OPERAÇÕES DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO FIO DE COBRE. FONTE: PRÓPRIO AUTOR.	44
TABELA 6: OPERAÇÕES DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO FIO DE COBRE. FONTE: PRÓPRIO AUTOR.	48
TABELA 7: OPERAÇÕES DO PROCESSO DE INJEÇÃO, RECURSOS, TEMPO DE CICLO E AÇÕES. FONTE: PRÓPRIO AUTOR.	50
TABELA 8: OPERAÇÕES DO PROCESSO DE INJEÇÃO, RECURSOS, TEMPO DE CICLO E AÇÕES. FONTE: PRÓPRIO AUTOR.	56

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1: PRINCÍPIOS ENXUTOS X CONSUMO ENXUTO FONTE: WOMACK E JONES, 2003 E 2006.	7
QUADRO 2: CLASSIFICAÇÃO DOS DESPERDÍCIOS (YAMAZAKI, 2016).....	13
QUADRO 3: POTENCIAIS PARA PROJETOS DE AUTOMAÇÃO EM EMPRESAS DO RAMO INDUSTRIAL. FONTE (ZAFARZADEH E JACKSON, 2013).....	18
QUADRO 4: DESAFIOS PARA PROJETOS DE AUTOMAÇÃO EM EMPRESAS DO RAMO INDUSTRIAL. FONTE (ZAFARZADEH E JACKSON, 2013).....	19
QUADRO 5: A LISTA DE RECURSOS BASEADOS EM CADA TECNOLOGIA. (MURATA 2015).....	24
QUADRO 6: MATRIZ DE INTEGRAÇÃO DE KARAKURI. FONTE:(MURATA, 2015).....	25
QUADRO 7: PROTOCOLO DE PESQUISA. FONTE: PRÓPRIO AUTOR.....	30
QUADRO 8: COMBINAÇÃO DE ELEMENTOS FÍSICOS COM ELEMENTOS "GATILHO" PARA SUPORTE NA UTILIZAÇÃO DO CONCEITO KARAKURI (MURATA,2015).....	34
QUADRO 9: MATRIZ DE ELEMENTOS FÍSICOS PARA ESCOLHA DE CONCEITO KARAKURI. FONTE: PRÓPRIO AUTOR	39
QUADRO 10: MATRIZ DE ELEMENTOS FÍSICOS PARA ESCOLHA DE CONCEITO KARAKURI. FONTE: PRÓPRIO AUTOR	46
QUADRO 11: MATRIZ DE ELEMENTOS FÍSICOS PARA ESCOLHA DE CONCEITO KARAKURI. FONTE: PRÓPRIO AUTOR	53

RESUMO

VICENTE, Rafael de Castro. ANÁLISE DO AUMENTO DA PRODUTIVIDADE EM PROCESSOS DE MANUFATURA POR MEIO DA APLICAÇÃO DE AUTOMAÇÃO BASEADA NO CONCEITO DE KARAKURI. 2018. 63 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção – Faculdade de Engenharia Arquitetura e Urbanismo, Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara d’Oeste.

Em meio a um ambiente globalizado, a flexibilidade dos processos de manufatura torna-se uma vantagem competitiva para as empresas. Com isso, inúmeros trabalhos vêm destacando a otimização de células de manufatura como uma solução para redução dos custos operacionais em um ambiente de flutuação de demanda e variedade de produtos. Dentre estes trabalhos, destaca-se a aplicação da automação de baixo custo baseada no conceito japonês *Karakuri*. Este conceito visa equilibrar a flexibilidade de uma célula de manufatura com os custos operacionais por meio da utilização de dispositivos para a automação dos movimentos do processo que não agregam valor. Estes dispositivos são baseados na geração de movimentos por meio de gravidade e transferência de massa. Este trabalho tem por objetivo analisar a aplicação do conceito *Karakuri* em uma célula de manufatura que faz parte de uma linha de montagem da indústria automotiva. Esta aplicação será realizada por meio de um estudo de caso em um fornecedor primário de grande porte da indústria automobilística. Para a condução do estudo de caso foi desenvolvido um protocolo de pesquisa, o qual permite identificar e correlacionar os movimentos que não agregam valor. Após a identificação dos movimentos que não agregam valor será desenvolvido e aplicado um dispositivo *Karakuri* em uma célula de manufatura. A avaliação da aplicação foi realizada por comparação dos indicadores de produtividade e custo. Foram analisados três casos em células de manufatura de produtos automobilísticos. O caso 1 e o caso 3 referem-se a uma célula de injeção de componentes plástico e o caso 2 refere-se a um processo de fabricação de fios. A aplicação do conceito *Karakuri* resultou um aumento de produtividade e redução dos custos em todos os casos estudado. A Redução dos custos operacionais foi respectivamente de R\$ 70.000,00 por ano; R\$ 30.000,00 por ano e R\$ 70.000,00 por ano, para os casos 1 a 3.

PALAVRAS-CHAVES: *Karakuri*; Automação de Baixo Custo; Automação Enxuta; Célula de Manufatura; Produtividade.

ABSTRACT

VICENTE, Rafael de Castro. PRODUCTIVITY INCREASING ANALYSIS IN MANUFACTURING CELLS USING AUTOMATION BASED ON KARAKURI CONCEPT. 2018. 63 p. Master Degree Application of Production Engineering at Faculdade de Engenharia Arquitetura e Urbanismo, Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara d'Oeste.

Inserted in a globalized environment, costs related to manufacturing processes become a competitive advantage in such a tough Market. Therefore, uncountable papers have highlighted activities to optimize manufacturing cells as a solution to reduce operational costs in a demand fluctuating environment and high level of products variation. Between those papers, low cost automation based in the Japanese concept of *karakuri* are the ones which call more attention. This concept aims to reach a balance between flexibility and operational costs by using equipments that automate the non-added- value movements. These equipments are basically using springs, gears and levers moved by gravity. This dissertation has the objective to analyze the application of *karakuri* concept application in a manufacturing cell which makes part of a semi-automatic assembly line. This application will be held by a case study in an automotive parts maker. In order to conduct better the case study, there was a need to create a research protocol which allows us to identify and correlate the movements that does not add any value to the *karakuri* principles. After that non-added-value movements identification, there will be a *karakuri* installation in a manufacturing cell. The evaluation after the application will be done using the comparison between the key indicators of productivity and cost. Three cases were analysed in different manufacturing cells. In the first case study the *karakuri* concept application was implemented in an injection plastic molding cell. In this case, the *karakuri* concept could reduce R\$ 70.000,00 reais per year on operational costs. In the second case, which was held in semiauto assembling cell, the *karakuri* concept was implemented in a hair pin manufacturing machine where the pins were messy placed in a regular box. *Karakuri* was introduced in that process now in a vibration conveyor which

feeds by gravity the steel blade which goes further later to the other process eliminating the need for a human feeder. That brought a yearly operational reduction of R\$ 30.000,00 per year. Finally, at the third case, the karakuri concept implementation could replace the manpower only by placing the karakuri itself and optimizing the discharge process. This could reduce operation cost in R\$ 70.000,00 per year.

KEYWORDS: Lean Manufacturing; Manufacturing Cells; Automation; *karakuri*; *Serus* production.

1. INTRODUÇÃO

Em meio a um cenário competitivo e globalizado, as indústrias de manufatura estão buscando inovar seus sistemas de produção para atingir um alto desempenho (Zhang, 2014). Além disso, as constantes flutuações de demanda com relação ao volume e as variedades resultam no aumento do risco do atendimento em relação aos critérios de qualidade, prazo e custo.

Baseado nas constatações acima, as indústrias de manufatura, principalmente do ramo automobilístico, têm desenvolvido os seus sistemas de produção de forma enxuta por meio da aplicação do *Lean Manufacturing*. No *Lean Manufacturing* todo tipo de desperdício (em japonês “*Muda*”) deve ser identificado para que ele seja eliminado ou reduzido. Desta forma, aumenta-se a flexibilidade e agilidade do sistema de produção e, conseqüentemente a sua produtividade (Yamazaki, 2016). Para Puchkova *et. al* (2015), um dos desafios dos sistemas de produção *Lean Manufacturing* tem como objetivo aumentar a produtividade da manufatura por meio da redução de desperdícios totais.

Um dos fatores que contribuem para a melhoria da produtividade nos sistemas de produção refere-se ao uso eficiente dos recursos, o qual está diretamente relacionado com o tipo de arranjo físico utilizado. Dentre os tipos de arranjos físico aplicados para operações de manufatura, destaca-se a célula de manufatura que utiliza operações manuais, a qual pode ser denominada de sistema *Seru* de produção (Célula em japonês). Um Sistema *Seru* são células de manufatura com alto nível de flexibilidade tanto para volume como para variedades. Com isso, seus processos são projetados como pequenas linhas de produção compostas de operações manuais e movimentação dos operadores entre as etapas do processo. Desta forma, um Sistema *Seru* permite vários tipos de flutuações de volume de produção e variedade. O volume de produção pode variar conforme a quantidade de operadores e conforme a meta do tempo de ciclo. A variedade de produtos em um sistema de produção pode variar conforme a alteração do plano de trabalho e configuração das estações de trabalho. Com isso, dentro de um sistema de manufatura que utiliza um sistema de células de manufatura do tipo *Seru*, a principal fonte de desperdícios são os movimentos desnecessários entre as etapas do processo, os quais são uma das fontes dos desperdícios do *Lean Manufacturing* (Strecke, 2012).

Segundo Yamazaki (2016), a taxa de custo incidente nas automações das operações que não agregam valor pode chegar a 40% em empresas do ramo de autopeças, fornecedoras primárias do setor automobilístico. Isso sugere então, que é possível alcançar reduções de custo eliminando desperdícios com movimentos desnecessários.

Desta forma, uma alternativa que traz aumento de produtividade e redução de custos de manufatura é a automação. Com base nas empresas de manufatura, expressado por Frohm (2008), a automação tem os seguintes benefícios: melhora o ambiente de trabalho; possibilita o aumento de capacidade produtiva; melhora o manuseio das peças; reduz o tempo de ciclo do processo. Estes benefícios resultam na melhoria da produtividade e, conseqüentemente na redução dos custos e da qualidade.

No entanto, os ganhos com a redução dos custos operacionais gerados pela automação podem ser eliminados em função do custo de investimento para obtê-la, o que potencializa a importância da avaliação de retorno financeiro.

Nesse sentido a automação de baixo custo torna-se importante. Para Patil (2013), automação de baixo custo - LCA (*Low Cost Automation*) é a introdução de dispositivos pneumáticos, hidráulicos, mecânicos e elétricos em um sistema de produção existente ou em máquinas com a intenção de aumentar a produtividade. Estes dispositivos permitem também a operação da mão-de-obra sem experiência ou com pouco treinamento. LCA é a tecnologia que cria alguns graus de automação usando geralmente componentes disponíveis no mercado com baixo investimento cujo retorno dele é realizado em um curto período.

A associação da automação de baixo custo com o *Lean Manufacturing* tem resultado no conceito de automação enxuta (*Lean Automation*), a qual é caracterizada pela busca da redução dos desperdícios com as operações de movimentação nos sistemas de produção por meio da automação baseada em soluções simples que exigem um baixo investimento devido ao uso de itens que estão disponíveis no ambiente de manufatura ou até mesmo itens de consumo em estoque. Por exemplo, o uso de sistemas pneumáticos permite eliminar alguns tipos de movimentos que antes feitos por mão-de-obra humana e, desta forma, aumentar a sua produtividade. Porém, caso o investimento ainda seja inevitável, a automação enxuta busca a otimização dos recursos automatizados na sua capacidade máxima de forma a buscar a maximização de sua depreciação (Yamazaki,2016).

Dentre os tipos de automação baixo custo (LCA) inserido no contexto de automação enxuta, destaca-se o conceito de *Karakuri*. O *Karakuri* é originalmente um dispositivo mecânico que utiliza de fenômenos físicos naturais (na maioria das vezes força da gravidade e eletromagnetismo) e mecanismos elementares (molas, alavancas, engrenagens, roletes etc.) para manusear operações com baixo nível de energia. Mecanismos de tipo *Karakuri* podem ser utilizados no manuseio de objetos (por exemplo, produtos ou componentes) ou embalagens e pacotes (Mašín I., 2016).

Entretanto, existem poucos trabalhos de aplicação do conceito de *Karakuri* na automação de sistemas de manufatura e dentre eles, não está claro qual é o método para identificação dos movimentos que vão agregar valor e que podem ser automatizados por meio da aplicação destes conceitos em células de manufatura e como a sua aplicação contribuirá para aumentar a produtividade.

Com isso surge o problema de pesquisa relacionado com a definição de um método de implantação de sistemas de automação de baixo custo e avaliar o impacto que esta implantação irá gerar na produtividade de um sistema de manufatura.

1.1. OBJETIVO

Esta dissertação tem como objetivo analisar o aumento da produtividade em processos de manufatura por meio da aplicação de automação baseada no conceito de *karakuri*.

1.2. METODOLOGIA DE PESQUISA

O método de pesquisa adotado foi o Estudo de Caso, pois a pesquisa teve o objetivo de analisar o aumento da produtividade em processos de manufatura por meio do acompanhamento da automação baseada no conceito de *Karakuri*. As etapas do estudo de caso foram detalhadas na Figura 1 conforme o modelo definido por Cauchik e Souza (2017).

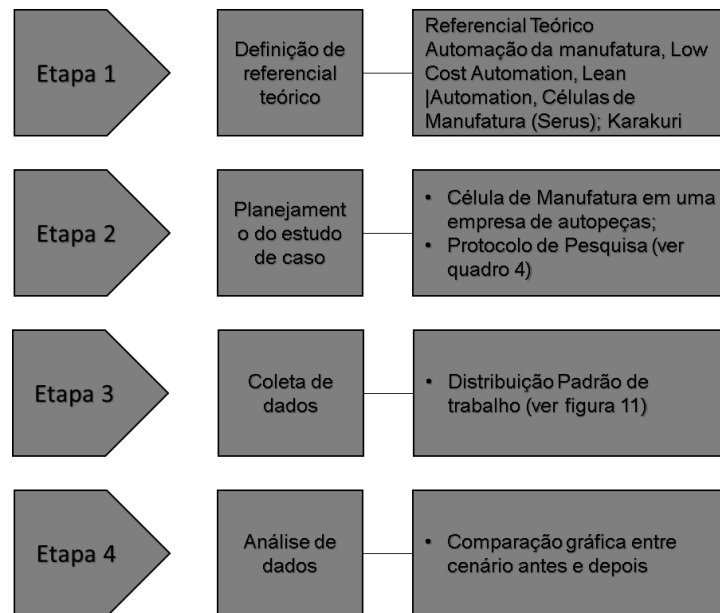


FIGURA 1: ETAPAS PARA CONDUÇÃO DO ESTUDO DE CASO. FONTE: PRÓPRIO AUTOR.

Conforme pode ser observado na Figura 1, o método de pesquisa foi composto por 4 etapas: definição de referencial teórico; planejamento do estudo de caso; coleta de dados; análise de dados.

Na etapa 1 foi realizado o mapeamento da literatura sobre Manufatura Enxuta; *Low Cost Automation*; *Lean Automation*; Células de Manufatura (*Seru*) e conceito *Karakuri*, sendo esse, o assunto referência para o desenvolvimento do estudo de caso. Como resultado tem-se a construção do Referencial Teórico, apresentado no Capítulo 2.

A etapa 2 refere-se ao planejamento do caso, o qual inclui a definição e detalhamento das linhas de montagem que serão analisadas, assim como a definição do protocolo de pesquisa que será utilizado durante a análise. O resultado desta etapa do método de pesquisa foi detalhado no Capítulo 3.

A Etapa 3 refere-se à coleta dos dados do estudo de caso por meio da aplicação do protocolo de pesquisa e a Etapa 4 refere-se à análise destes dados. Os resultados das Etapas 3 e 4 estão detalhados no Capítulo 4.

1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Este trabalho encontra-se dividido em quatro capítulos abordando as diferentes etapas da pesquisa. No presente capítulo é feita a introdução ao desenvolvimento da metodologia de pesquisa. O segundo capítulo trata a revisão bibliográfica sobre o pensamento Manufatura Enxuta e Automação da Manufatura Enxuta, abordando as suas principais características e princípios bem como as suas ferramentas e técnicas mais utilizadas.

No terceiro capítulo foi definido o método de pesquisa do estudo de caso. Depois, no capítulo quatro, foi observada a aplicação do método proposto e o levantamento de informação relativamente à aplicação. A apresentação de um estudo de caso é feita no mesmo capítulo, aplicando as práticas Lean concluídas a partir do capítulo anterior, no desenvolvimento de um produto real.

Por último, o quinto capítulo destaca a conclusão sobre a aplicação do estudo de caso observado, seus resultados e possíveis aplicações.

2. REVISÃO DA LITERATURA

A revisão de literatura procurou fornecer uma referência teórica para esta dissertação e foi desenvolvida sobre os temas Automação da manufatura, Low Cost Automation, Lean |Automation, Células de Manufatura (Serus); Karakuri.

2.1. MANUFATURA ENXUTA

Womack, Jones e Ross (1992), no livro “*A máquina que mudou o mundo*”, apresentaram a manufatura enxuta como um modelo de gestão de operações por meio de seus estudos no Sistema Toyota de Produção (STP). O STP surgiu no Japão após a década de 50 com o objetivo de recuperar a eficiência e a produtividade da indústria automobilística japonesa pós Segunda Guerra Mundial.

Logo em seguida, Womack e Jones (1996), em seu livro *Lean Thinking*, estabeleceram cinco princípios para o *Lean Thinking* para toda a empresa: *Valor; Fluxo de valor; Fluxo contínuo; Valor puxado pelo cliente; Perfeição.*

Para Moyano-Fuentes (2012), O *valor* é capacidade oferecida a um cliente no momento certo a um preço adequado, conforme definido pelo cliente.

Na filosofia LM, o cliente define o que é valor. Já o *Fluxo de valor* são atividades específicas necessárias para projetar, produzir e oferecer um produto específico, da concepção ao lançamento, do pedido à entrega, e da matéria-prima às mãos dos clientes.

Para Womack e Jones (2003), especificar e aumentar o valor dos produtos sob a ótica do cliente, identificar a cadeia de valor para cada produto e remover os desperdícios, fazer o valor fluir pela cadeia de modo que o cliente possa puxar a produção e finalmente o gerenciamento rumo à perfeição, são os princípios básicos da produção enxuta.

Os autores Womack e Jones, desconstróem o modelo produtor-consumidor e estabelecem, de maneira inédita, os princípios do consumo enxuto, que consiste em mostrar às empresas como eliminar a ineficiência no processo de consumo como se pode ver no Quadro 1 (Camelo, 2010).

QUADRO 1: PRINCÍPIOS ENXUTOS X CONSUMO ENXUTO FONTE: WOMACK E JONES, 2003 E 2006.

PRINCÍPIOS ENXUTOS (PRODUÇÃO)	CONSUMO ENXUTO (CONSUMIDOR)
Especificar e aumentar o valor dos produtos sob a ótica do cliente	Solucionar totalmente o problema do cliente
Identificar a cadeia de valor para cada produto e remover os desperdícios	Não desperdiçar o tempo do cliente
Fazer o valor fluir pela cadeia	Oferecer exatamente aquilo que o cliente quer
De modo que o cliente possa puxar a produção	Oferecer o que o cliente quer exatamente onde ele quer
Gerenciamento rumo à perfeição	Oferecer o que o cliente quer, onde ele quer e exatamente quando ele quer
	Agregar continuamente soluções para reduzir tempo e aborrecimentos do cliente

O *Fluxo contínuo* por sua vez é a realização progressiva de tarefas ao longo do fluxo de valor para que um produto passe da concepção ao lançamento, do pedido à entrega e da matéria-prima às mãos do cliente sem interrupções, refugos ou retro fluxos.

Valor puxado pelo cliente é o sistema de produção e instruções de entrega das atividades no qual nada é produzido pelo fornecedor sem que o cliente sinalize uma necessidade. Isso permite inverter o fluxo produtivo no qual as empresas não mais empurram os produtos para o consumidor através de descontos e promoções. O consumidor passa a puxar o fluxo de valor, reduzindo a necessidade de estoques e valorizando o produto.

Perfeição é eliminação total de desperdício para que todas as atividades ao longo de um fluxo de valor criem valor. Desde então, várias publicações analisaram esses princípios em maior profundidade e outros autores propuseram novos princípios, como comprometimento da gestão, respeito pelas pessoas e envolvimento da gestão na cadeia de suprimentos (Pinheiro *et. al*, 2014).

Além dos 5 princípios para alcançar o Lean Manufacturing, foram desenvolvidos ainda os 14 princípios do Sistema Toyota de Produção, os quais foram divididos em 4 categorias conforme a Figura 2.

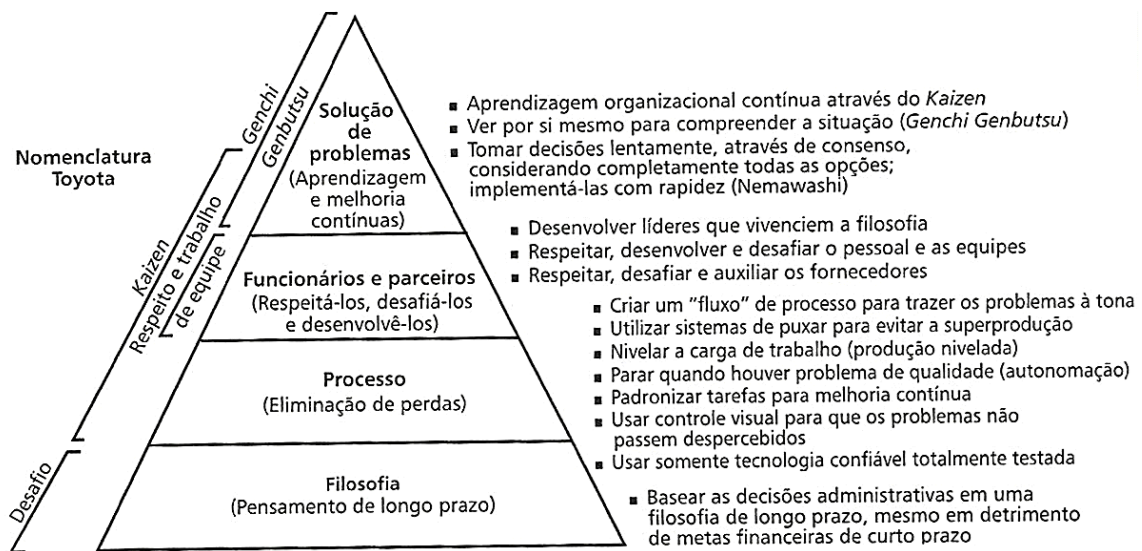


FIGURA 2: AS QUATRO CATEGORIAS DO MODELO TOYOTA E OS QUATORZER PRINCÍPIOS DE LIKER. FONTE: LIKER (2004).

Como visto na Figura 2 Liker (2004) dividiu os quatorze princípios em 4 categorias: Solução de Problemas; Funcionários e Parceiros; Processo e Filosofia.

A primeira categoria do modelo de Liker é caracterizada pelas atividades de solução de problemas as quais contém os princípios de: *Kaizen*; *Genchi Genbutsu*; *Nemawashi*.

O *Kaizen* é uma palavra de origem japonesa que tem como significado a melhoria contínua em tudo que praticamos (Ohno, 1997).

Vários estudos ilustram a aplicação de *kaizens* em vários ramos da indústria e até na agricultura. Como resultado da pesquisa na literatura este trabalho traz três exemplos da aplicação atual de *kaizen*.

No primeiro exemplo, Maurício (2013) apresenta um estudo de caso com a proposta de melhoria na fabricação de componentes soldados da indústria metalúrgica. Este estudo foi dividido em duas fases: Implantação do *kaizen*; Verificação das melhorias da aplicação do *kaizen*.

Durante a implantação do *kaizen* os autores perceberam um excesso de manuseio no processo de solda. Os operadores se movimentavam entre as operações carregando as peças e não agregando valor ao produto final. Dessa forma, usando as ferramentas do Lean Manufacturing, foi possível implementar o *kaizen* por meio de balanceamento de linha e definição de trabalho padrão.

Já na verificação das melhorias propostas na fase de implantação, o autor observou melhoria nos seguintes aspectos: Produtividade; Segurança; Inventário.

Segundo Maurício (2013), a produtividade aumentou na ordem de 40% em comparação com o cenário anterior. Em relação à segurança, a implantação do *kaizen* reduziu o excesso de deslocamento repetitivos e que não agregam valor. Finalmente, por meio de *kaizen*, pôde-se reduzir o inventário na ordem de 67% resultando assim em uma redução no Lead Time total do produto.

Os autores então, concluíram que com a prática de *kaizen* e ferramentas LM a empresa em questão atingiu os objetivos em produtividade, segurança e inventário.

No segundo exemplo, Chaves (2016), descreve a aplicação de *kaizen* para melhoria do estoque em uma empresa do ramo de peças para aviões.

Como no primeiro exemplo, o autor se propões a analisar a implantação da metodologia *kaizen* e os resultados obtidos. Contudo, neste exemplo o autor segmentou a implantação em mais partes. São elas: coleta de dados, elaboração e realização de treinamento de ferramentas LM; definição da equipe de *kaizen*; definição de projeto piloto.

Nesse caso, no projeto piloto escolhido, foi verificado que o processo de armazenamento de matéria-prima demandava diversas movimentações entre áreas caracterizando um dos desperdícios do STP: excesso de movimentação. Os processos internos demandavam vários procedimentos complexos e foram eliminados dando espaço à um procedimento mais simples e enxuto.

Após encontrar a causa-raiz, o autor analisou a aplicação dos *kaizens* propostos e realizaram a segunda fase da aplicação cujo propósito era verificar os resultados.

Chaves (2016) concluiu que com a implantação de atividades usando da metodologia de *kaizen* a empresa reduziu o tempo de movimentação da matéria-prima em 80% cujo resultado aumentou em 30% a área útil do estoque e reduziu em 57% o *Lead Time*.

Por último, no terceiro exemplo, Yamada (2013) propõe a análise da implantação da metodologia de *kaizen* em uma empresa do ramo de bens de consumo.

Neste exemplo o autor se propôs em aplicar a metodologia de kaizen na produção de confeitos de chocolate. Assim, a proposta é melhorar o atendimento à demanda, ou seja, aumentar a produtividade.

Yamada (2013), fragmentou a implantação em três fases: Planejamento e preparação; Implementação; Apresentação, celebração e acompanhamento.

Na fase de planejamento e preparação o autor definiu a célula de produção onde o *kaizen* ia ser aplicado, ele definiu também qual o problema ser resolvido e o agendamento da execução do kaizen.

Na fase 2, com base nos dados colhidos na fase 1, a equipe de *kaizen* implementou o kaizen por meio da utilização das ferramentas LM.

A fase 3, portanto caracterizou a apresentação e a celebração dos resultados que atingiram um aumento de 11,39% na produtividade atingindo assim a meta inicial da empresa.

Segundo Liker e Meier (2006), o princípio de Genchi Genbutsu é a ação de compreender da situação por meio de “*ver por si mesmo*” indo até a produção (genba). Dessa forma é mais fácil compreender a real situação de como as coisas funcionam e assim é possível mensurar o que deve ser melhorado.

Nemawashi é a ação de tomar decisões lentamente por consenso, considerando completamente todas as ações e somente depois implementá-las com rapidez.

A segunda categoria é caracterizada pelo desenvolvimento da filosofia do conceito pelo ser humano a partir do desenvolvimento dos líderes, do respeito aos desafios (disciplina) e as equipes de auxílio aos fornecedores.

Outra categoria trata a eliminação de perdas que tem como início o princípio que utiliza o sistema de produção puxado pela demanda do cliente, como por exemplo o *kanban*, para evitar superprodução.

Vários exemplos de aplicação da ferramenta *kanban* foram encontradas na pesquisa bibliográfica.

Um deles, o estudo de caso de Hashimoto (2015), a autora apresenta uma aplicação da ferramenta *kanban* em uma empresa do ramo de autopeças. Neste estudo o autor definiu sua metodologia de maneira sistemática por etapas de implementação.

Na primeira etapa, Hashimoto (2015) definiu a célula onde a metodologia ia ser aplicada e dimensionou o número de *kanbans* com base no TT e Lead time de processo. Logo depois um painel para alocação dos cartões foi criado para melhorar a gestão da produção.

Na segunda etapa o autor propôs a medição dos ganhos com a aplicação da ferramenta que no estudo de caso apresentado se deu no aumento de 20% do faturamento da empresa. Este fato se deu pois com o uso da metodologia de *kanban* a produção se manteve nivelada e com estoques intermediários definidos bem como estoque à pronta entrega dimensionado para demanda de clientes.

Outro exemplo de aplicação da metodologia usando *kanban* foi apresentada por Silva et al (2016), nesse caso os autores apresentaram um estudo de caso realizado em uma indústria de autopeças cujo objetivo é a redução de estoques, flexibilização das linhas e agilidade à variação da demanda.

Os autores, neste estudo de caso, definiram pré-requisitos para implantação de *kanban* e as regras. Depois, apresentaram as mudanças necessárias na empresa, como por exemplo reforço do uso do 5S.

Como resultado, os autores apresentam a satisfação dos clientes e atingimento das metas estabelecidas no início.

Outros princípios ligados à eliminação de perdas são o nivelamento da produção, trabalho padrão e autonomia.

O nivelamento da produção se dá pela produção próxima à quantidade média para que se evitem os desperdícios. Outra atividade de eliminação de perdas é a aplicação do trabalho padrão. Tarefas padronizadas são a base para a melhoria contínua e a capacitação dos funcionários, por isso, deve-se praticar os 5Ss e a utilização de controles visuais para que tudo seja facilmente visualizado e compreendido por qualquer pessoa, sem que haja a necessidade de perguntar. Por fim, a autonomia visa construir uma cultura de parar e resolver a raiz do problema no exato momento da sua ocorrência, para que se tenha qualidade desde o início de cada etapa do processo produtivo.

Ainda na categoria de eliminação de perdas estão os seguintes princípios: controle visual e o uso de tecnologias confiáveis.

O controle visual garante que o nível de informações seja claro e sempre o mesmo para todos. Nesse princípio nenhum problema fica oculto. Além disso, o uso de tecnologia confiável, que garante que a tecnologia dos processos seja de maneira puxada pela produção e não empurrada para ela.

A última categoria do modelo Toyota é caracterizada pelo uso do pensamento a longo prazo, nela as decisões administrativas se baseiam em uma filosofia de longo prazo que sejam compreendidas completamente no trabalho, que esta filosofia seja vivida pelos colaboradores e que seja ensinada aos outros.

Nesta categoria também, o princípio insiste no investimento do capital humano por meio do desenvolvimento das pessoas e equipas de trabalho. Nessa estrutura o sucesso depende do trabalho com conjunto e não do indivíduo.

De acordo com as afirmações de Liker (2004) acima e Takami (2014), a base para inovação da manufatura na Toyota é o STP, o qual tem sido passado adiante ao longo dos anos e deve ser certamente chamado de DNA da Toyota. A Figura 3 ilustra a casa do Sistema STP, a qual é composta por 2 pilares: *just-in-time* e *jidoka* (autonomação em japonês).



FIGURA 3: OS DOIS PILARES DO SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO (STP)

No STP existem 8 tipos de desperdícios típicos. São eles: superprodução, espera, transporte desnecessário, superprocessamento, excesso de estoque, movimentos desnecessários, defeitos e a não utilização da capacidade dos colaboradores (Shingo, 1985). Além da definição dos 8 desperdícios-padrão de Shingo, algumas referências descrevem derivações de desperdícios de produção. Um deles, descrito por Yamazaki (2016), classificam os desperdícios

em três categorias: Desperdício de Mão-de-obra, Desperdício de Produção e Desperdício de Tecnologia, como mostrado no Quadro 2.

QUADRO 2: CLASSIFICAÇÃO DOS DESPERDÍCIOS (YAMAZAKI, 2016).

Desperdício	Mão-de-obra	Produção	Tecnologia
Excesso de produção		✓	
Estoque		✓	
Excesso de movimento	✓		
Espera	✓		
Máquina			✓
Esteira		✓	
Excesso de defeito			✓

O motivo para classificação dos desperdícios citados acima descritos por Yamazaki é separar o desperdício produzido pela mão-de-obra e o desperdício gerado pelo sistema. Dessa forma é possível agir de maneira separada eliminando atividades que não agregam valor de maneira individual

Não existem impactos ou diferenças entre desperdício de produção e desperdício de tecnologia. Porém observam-se os desperdícios nas operações da máquina do mesmo jeito que se observa nas operações da mão-de-obra, pode-se determinar uma grande quantidade de desperdícios os quais se deve definir novos níveis de melhorias. Os desperdícios mais típicos de operações de máquinas são os de manuseio de materiais, como por exemplo, esteiras. (Yamazaki, 2016).

Na Figura 4 estão descritas atividades de produção inseridas dentro de um certo processo cuja sequencia resulta em um ciclo de tempo. As atividades manuais 1, 2, 4 e 5 tem seus tempos conhecidos e não dependem de qualquer máquina ou equipamento para serem executados. Já a atividade 5 é caracterizada pelo movimento automático de algum equipamento ou máquina.

Operação	1 ciclo					
Atividade manual 1	█					
Atividade manual 2		█				
Atividade automática 3			█	█		
Atividade manual 4					█	
Atividade manual 5						█

FIGURA 4: TEMPO DE OPERAÇÃO DO EQUIPAMENTO EM 1 CICLO. FONTE: PRÓPRIO AUTOR.

Na Figura 4, o tempo de cada atividade manual é relativamente pequeno comparado com o tempo de ciclo total. Porém quando se observa o tempo da atividade automática 3, pode se concluir que o tempo da máquina é relativamente alto, o que demanda um investimento de componente de alto desempenho para execução do tempo de ciclo desejado. Portanto, a subutilização de um sistema de alto desempenho, é considerada como desperdício (Yamazaki 2016).

Para Shah e Ward (2002) a influência da prática da Manufatura Enxuta contribui substancialmente para o desempenho das plantas de manufatura. Contudo, a implementação requer soluções customizadas. Tudo depende do tipo de produção ou serviço que está sendo aplicado.

De acordo com D'Antonio (2017) atualmente as empresas são guiadas pelo mercado com demanda de alta competição à passos rápidos de negócios e ainda cronogramas apertados de implementações e lançamentos. Por um lado, a manufatura vive ciclos reduzidos de produção assim como seus lotes; Por outro lado, a variedade de tipos de produtos e suas customizações crescem ano a ano, bem como a demanda dos clientes. Dessa forma, para manter a vantagem competitiva, empresas precisam melhorar seus processos e suas respectivas eficiências. Para D'Antonio uma iniciativa a tomar é a implementação de práticas de Manufatura Enxuta.

Já para Alefari (2017), embora o termo Manufatura Enxuta seja amplamente compreendido atualmente, a sua implementação ainda dispõe de alguns desafios. A implementação da Manufatura Enxuta, como Alefari menciona, está no processo de mudança do pensamento antigo para o pensamento Lean (enxuto) por meio de especialistas em Manufatura Enxuta.

Salonitis e Tsinopoulos (2016) basearam a extensa revisão de literatura disponível em Manufatura Enxuta e identificaram vários casos de sucesso que mencionam pontos-chave para implementação da metodologia. Uma delas é a cultura organizacional e o sentimento de propriedade dos colaboradores e entre outras. Em um estudo similar Zargum e Al-Ashhab (2014) estudaram 27 fatores críticos de sucesso para implementação de Manufatura Enxuta. Além disso, os autores classificaram esses fatores em quatro grupos nomeados: Objetivos e Estratégias, Liderança e Gerenciamento, Recursos Humanos e Fatores Externos.

2.2. AUTOMAÇÃO DA MANUFATURA ENXUTA

Na Literatura inúmeras ferramentas para implementação da Manufatura Enxuta destacam-se. Dentre elas: 5S, Andon, Análise de operação gargalo, fluxo contínuo de produção, Nivelamento de produção, Automação, Just In Time, Kaizen, Kanban, Pokayoke, Análise da causa raiz, Redução de tempo de Setup (SMED), Trabalho padrão entre outras (Silva, 2017).

Dentre as ferramentas, a padronização dos trabalhos e redução do setup de Shingo (1985), destacam-se ferramentas que buscam flexibilidade das células de manufatura (Serus).

O conceito de célula de manufatura Seru iniciou-se no Japão em 1992 nas indústrias do ramo de eletrônicos. Nestas indústrias as linhas eram movidas por esteiras e caracterizavam alta performance de produção e baixa flexibilidade de produtos (Strecke, 2012).

Para Villa (2013), um Seru (célula em japonês), tem se destacado em vários trabalhos como uma inovação para o gerenciamento da produção (Miyake, 2006, Yin, 2010). O mesmo surgiu em um ambiente completamente complicado devido à vários fatores como por exemplo a mudança de demanda e alta variedade de produtos para um volume baixo, baixa flexibilidade das linhas com esteiras, longo período de estagnação da economia, ambiente de trabalho sem desafios para os colaboradores uma vez que as linhas com esteiras para alto volume eram inflexíveis e demandavam trabalho repetitivo, alto índice de competitividade, entre outros (Villa, 2013).

Células de manufatura regulares e Serus, são linhas de manufatura com alta flexibilidade, porém os mecanismos por trás são diferentes. Um Seru não trata os produtos de maneira separada como usualmente encontramos em células comuns. Ao invés disso, um Seru agrupa partes similares ou família de produtos de acordo com as características delas, similaridades dos processos e os métodos de manufatura. Por outro lado, Serus tem sido principalmente aplicado à indústria eletrônica no Japão, pois se adapta melhor a processos leves como componentes elétricos manufaturados à mão e com máquinas simples (Strecke, 2012).

Para Liu, et al (2013), no conceito de linhas de manufatura movidas por esteiras, os operadores são usualmente de função única, ou seja, não executam outras atividades a não ser aquela na qual está fisicamente alocado

para executar. O ponto chave para implementação de células de manufatura do conceito Seru é treinar todos os operadores para serem multifuncionais

Serus podem ser vistos em vários layouts, tais como tipo em “U”, tipo “L”. Como exemplo na Figura 5 onde um Seru tipo “U” o qual é dividido em várias linhas curtas, cada linha é dedicada à um tipo de produto e os colaboradores se deslocam pelas estações de trabalho para completar os processos. Mesmo que somente brevemente explicado, um Seru demonstra algumas vantagens, como por exemplo alta flexibilidade, Lead Time curto, baixo inventário. Por outro lado, inicialmente já se percebe algumas desvantagens, tais como altos investimentos em colaboradores multifuncionais, aumento de variáveis de produtos pode aumentar custos e pressão de trabalho nos colaboradores (Villa 2013).

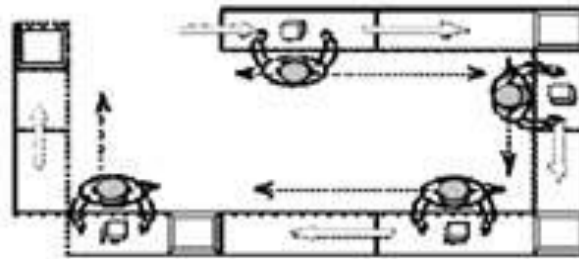


FIGURA 5: EXEMPLO DE SERU . FONTE (MIYAKE 2006).

Nos últimos anos, alguns gigantes na indústria eletrônica como Sony, Canon, Panasonic, Fujitsu, NEC e Hitachi, tomaram a iniciativa de reconfigurar suas linhas de montagem e implementar células do tipo *seru*. Seus relatórios mostram que a maioria deles alcançaram lucros. A Canon, desde 1998 tem introduzido sistemas de *seru* nas 54 plantas de manufatura em 23 países. Como resultado ganharam 720.000 metros quadrados de espaço no chão-de-fábrica e reconfiguraram mais de 20.000 metros de esteiras de linhas de montagem. O giro de estoque de processos reduziu de três dias para seis horas desde 1998 até 2003 e o custo total caiu dramaticamente de 62% para 50%, assim maiores lucros (Liu, 2006).

Outro exemplo mostrado por Liu (2013) demonstra a reconfiguração de uma linha movida por esteira para uma ou mais células no conceito Seru. Essa reconfiguração pode ser observada na Figura 6.

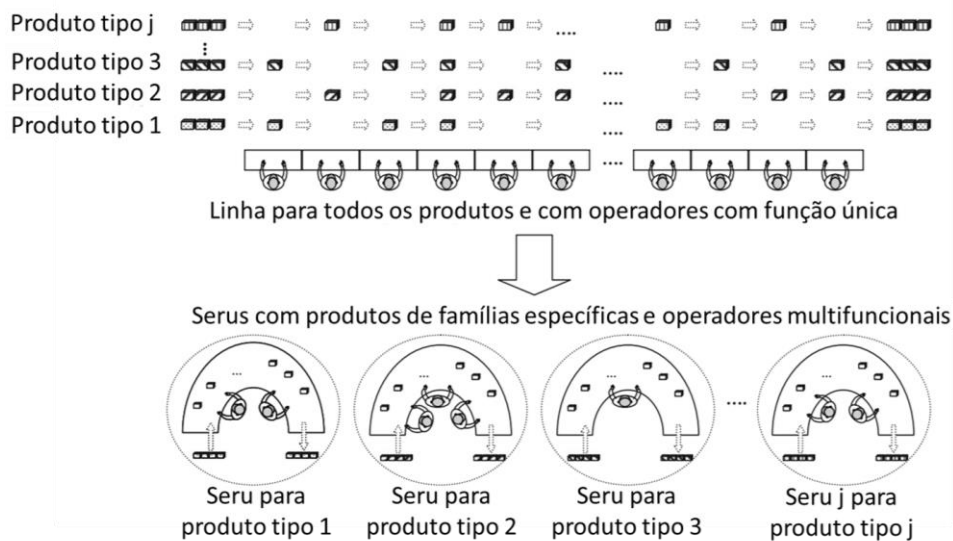


FIGURA 6: RECONFIGURAÇÃO DE LINHA DE PRODUÇÃO PARA CONCEITO SERU. FONTE (LIU 2013).

Como visto na Figura 6, a linha de produção que antes era caracterizada pela movimentação por esteira foi reconfigurada para 3 pequenas células do conceito Seru de produção as quais trouxeram alta flexibilidade e aumento nas habilidades dos operadores.

Yagyuu (2003) dividiu o procedimento de implementação dos serus em oito passos: seleção do sistema de manufatura e tipo de produto, investigação e melhoria do atual processo de manufatura, design de engenharia do sistema de manufatura atual, planejamento das operações, treinamento dos operadores, balanceamento da produção redesenho para baixo nível de automação dos equipamentos e estabilização da produção para o trabalho.

Geralmente, trabalhos manuais têm sido reduzidos pela introdução soluções automáticas. Porém, a automação clássica – especialmente em empresas ocidentais – frequentemente é a automação total do processo, tendenciado a ser complexa e de alto custo (Seifermann, 2014).

Para Zafarzadeh e Jackson (2013), o clima competitivo de produção e o custo alto de mão-de-obra motivam empresas ocidentais a automatizarem seus processos como um meio de aumentar a competitividade na manufatura. Por outro lado, empresas estão cientes sobre as metodologias de reduções de custo como por exemplo os sistemas de Produção Enxuta as quais se mostram efetivas. Assim algumas empresas de manufatura tendem a seguir esse sistema. Portanto para implementar automações é vital encontrar um cenário

desafiador e potenciais dentro de um Sistema de Produção Enxuto bem como o nível de automação desejado.

Zafarzadeh e Jackson (2013), ainda mencionam que historicamente a automação tem sido usada por razões ergonômicas cujas situações de carregamento de pesos de maneira repetitiva geram ônus para produção.

Os mesmos, na sua análise do estudo de caso, descrevem os potenciais e desafios das automações pela perspectiva do LM. Neste estudo de caso a empresa desenvolve todos seus projetos baseados em um guia de sete passos. Neste guia o time de projeto deve entregar suas tarefas no final de cada fase para que seja possível passar pelo “gate” (portão em inglês) e iniciar a próxima fase como mostrado na Figura 7.

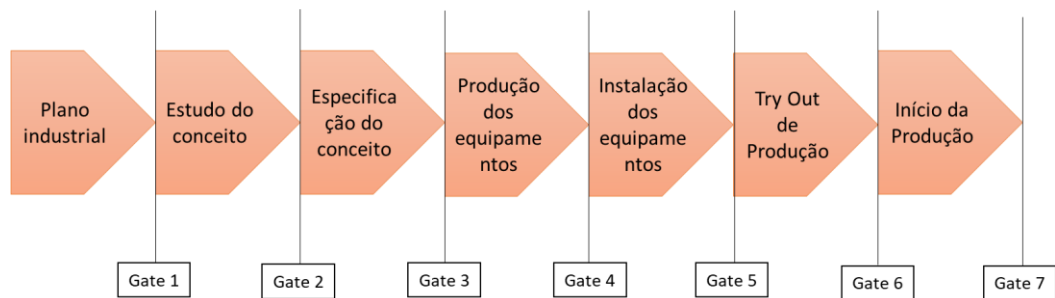


FIGURA 7: DESENVOLVIMENTO DE PROJETO NO ESTUDO DE CASO MENCIONADO PELOS AUTORES. FONTE (ZAFARZADEH E JACKSON, 2013).

Este guia de projetos tem as seguintes fases: Plano Industrial, Estudo do conceito, especificação do conceito, Produção do Equipamento, Instalação do equipamento, Try-out de produção e Início da produção.

Neste Caso, Zafarzadeh e Jackson indicaram potenciais e desafios para projetos específicos de automação de acordo com os Quadros 3 e 4 consecutivamente.

QUADRO 3: POTENCIAIS PARA PROJETOS DE AUTOMAÇÃO EM EMPRESAS DO RAMO INDUSTRIAL. FONTE (ZAFARZADEH E JACKSON, 2013).

Potenciais	
Redução de custo de produção e operação	Robos podem trabalhar sem parar. Considerando o cenário da Suécia (5 semanas por anos de descanso) o custo com operadores é reduzido.
Ergonomia	Peso e tamanho de vários produtos necessitam ferramentas de suporte para humanos. Robos podem carregar os pesos e tamanhos os quais foram especificados.
Disponibilidade	No caso do ser humano, robos não necessitam férias, descansos ou trocas de turno. Disponibilidade média de robos é de 90%
Melhoria da capacidade de produção	Como mencionado antes, robos tem alta disponibilidade.

QUADRO 4: DESAFIOS PARA PROJETOS DE AUTOMAÇÃO EM EMPRESAS DO RAMO INDUSTRIAL. FONTE (ZAFARZADEH E JACKSON, 2013).

Problema	Desafio
Problemas de integração de automação	Integrar diferentes tipos de automação de diferentes fornecedores que utilizam diferentes tipos de programação
Alto custo inicial	Custo de robos é atualmente alto, não só os robo em sí, mas seus aparatos, manutenção , programação, conhecimento
Problemas de Qualidade	Robos não conseguem detectar defeitos e sucata
Visualização	Operadores e observadores não conseguem enxergar o que há por dentro da tecnologia de robo ou literalmente dentro dele
Manutenção	Alto nível de tempomédio para reparo (MTTR) e peças de reposição caras e difíceis de encontrar
Relação fornecedor - cliente	Fornecedor não sabe com clareza a necessidade do cliente. Normalmente não estão alinhados com os métodos de produção
Dependencia de terceiros	Manter instalações com robos, alterações de programas de robos são alguns exemplos da dependencia de terceiros
Treinamento	Treinar os operadores e pessoas envolvidas toma tempo e dinheiro.

Desta forma, os autores mostraram que é vital enxergar a automação de maneira holística, baseada em eventos empíricos e que mesmo que houver um plano de gestão de projetos, a automação deve ter uma estratégia específica.

Já para Winroth (2006) as empresas enxergam a automação como um meio de melhorar a qualidade, desempenho e eficiência. Frequentemente a automação é lembrada como principal meio de melhorar a eficiência na manufatura.

Granlund (2012) e Groover (2008) mencionam que os benefícios da automação são: produtividade da mão-de-obra bem como a redução do custo dele, mitigação dos efeitos de falta de mão-de-obra, eliminação das rotinas manuais, melhoria da segurança, redução do Lead Time e a execução de tarefas manuais que não poderiam antes ser automatizadas pelo alto custo.

Coffey (2017) cita que prever a automação de mais ou menos empresas para o fim do século é prematuro. Mas não é difícil enxergar, porém, que pesquisadores olhando para montadoras japonesas no final dos anos 80, já supunham o discernimento da tendência para a indústria.

Automação pode ser brevemente definida como todos os conjuntos de medidas que buscam repor o trabalho humano usando tecnologia para isso. Isso também inclui sistemas de armazenamento de dados, sistemas de manuseio de componentes, linhas de montagem, células de produção, máquinas, computadores, controladores, softwares etc. Isso tudo requer um imenso capital para investimento.

Frohn (2008), Lindström (2003) e Winroth, & Stahre (2006), concluem que o uso da automação altamente depende em encontrar a melhor distribuição das tarefas entre mão-de-obra e sistemas tecnológicos. Múltiplos critérios devem ser considerados para liderar a escolha do melhor processo. Para Salmi (2016) o custo é o maior critério a ser avaliado.

Com a preocupação com a estimativa de custo envolvendo a automação, Windmark (2012) notou que a automação parcial só pode ser realizada em pontos particularmente difíceis de automatizar.

Somente empresas nacionais e multinacionais podem optar por automações de alto custo, pois estas empresas têm produção em massa as quais balanceiam os altos investimentos com um retorno rápido. Por outro lado, pequenas e médias empresas não conseguem optar por investimentos altos em automação

e isso às vezes leva as mesmas à um menor crescimento em relação às outras.

Automação de Baixo Custo (LCA) é um conceito de desenvolver novas e máquinas, mecanismos, sistemas automatizados fazendo o uso de peças de máquinas não mais utilizadas ou peças padronizadas de fácil e rápido acesso sem ou com baixo custo.

À primeira vista, LCA pode ser considerada como hardware de baixo custo, como atuadores, sensores e controladores. Isso, certamente, é um ponto importante a considerar. Automação de Baixo Custo (LCA) promove reduções de custo efetivas que integram mão-de-obra com habilidades com soluções técnicas simples e não são soluções de complexas com uso de tecnologia sofisticada e de alto custo que propagam o uso de inovações inteligentes. Erbe complementa que Automação de Baixo Custo é a junção de metodologias que almejam robustez ainda que a baixo custo (Erbe, 2016).

O termo Automação de Baixo Custo (LCA) é mundialmente aceito e usado na comunidade de controle, principalmente nos usuários finais. Se refere à um número de características de sistemas de controle fazendo os mesmos acessíveis a várias aplicações ou que se encaixem em várias unidades. LCA se refere às aplicações simples que permitam serem replicadas e tem baixo risco de operações. Essas mesmas operações devem ser operações de fácil manutenção, flexíveis e modulares (Albertos,1998).

Segundo Gajmal (2014), automação é um assunto vasto o qual pode ser brevemente definido como um conjunto de medidas que podem substituir o trabalho humano por meio de máquinas e tecnologia. Isso inclui automação em estoques, sistemas de manuseio, linhas de montagem e células e outros.

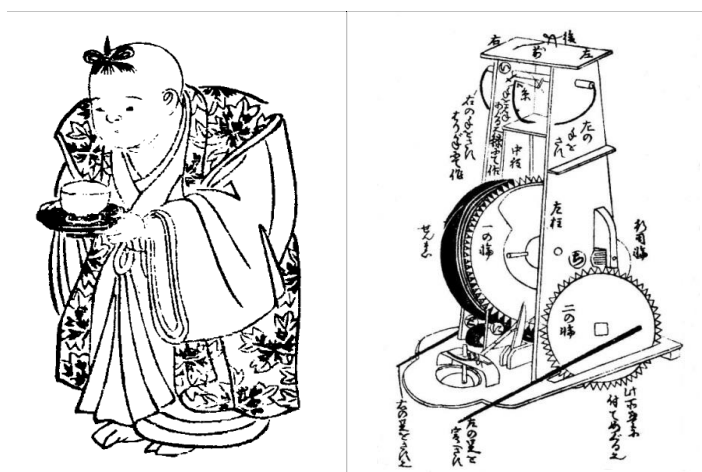
De acordo com Yamazaki (2016), linhas com processos manuais são as mais fáceis para encontrar desperdícios, por outro lado linhas automatizadas não possibilitam a implementação de um processo enxuto. Yamazaki também menciona que a maior diferença entre pessoas e máquinas automatizadas é a relação entre valor agregado e custo. Para ele, no caso das pessoas, o que se melhora somente é o tempo, pois o ser humano é o “robô perfeito”. Já para as máquinas automatizadas, somente se pode melhorar o custo. E neste caso o quanto o equipamento trabalha para pagar ele próprio. Assim o Lean Automation (Automação Enxuta) sugere que os equipamentos automáticos devem ser usados na sua capacidade máxima.

Dentro do conceito de automações enxutas está o conceito karakuri. Esse conceito que reduz o consumo de energia é também chamado de automação de baixa ou zero energia. Nos últimos vinte anos, esse conceito foi desenvolvido e realizado principalmente na indústria automotiva para economizar energia, reduzir a carga de trabalho do ser humano e reduzir o tempo de produção e operações de manuseio (Masin, 2016).

A palavra em japonês para karakuri significa dispositivo mecânico para “surpreender” uma pessoa. A filosofia central de karakuri é inibir algo que poderia conter tecnologia, algo para gerar sentimentos e emoções tais quais um senso de mágica (Murata, 2015). Aplicações tradicionais de karakuri são unicamente bonecas Japonesas que serviam chá de maneira mecanizada e autônoma. A figura 10 mostra um exemplo de como era o diagrama de forças que faziam com que os bonecos se movimentavam (Ashok, 2015).

A tecnologia do conceito karakuri é considerada a última metodologia para elaborar e concretamente realizar de maneira simples e efetiva, ideias de melhorias de manufatura sem investimentos e utilizando mão-de-obra da manufatura. O conceito tem por objetivo aumentar a produtividade, melhorar a qualidade, segurança e reduzir custos por meio de eliminação de desperdícios (Hirayama, 2014).

A Figura 8 ilustra o conceito original do karakuri e os princípios de seus movimentos.



**FIGURA 8: DIAGRAMA DE MOVIMENTOS E ELEMENTOS DE TRANSFERÊNCIA DE FORÇAS.
FONTE: (JIPM 2009)**

Ainda observando a Figura 8, os sistemas karakuris funcionavam da seguinte maneira (<http://karakuri.item24.de/2017>):

- Uma mola esticada deixava a boneca na posição vertical
- Caso uma xícara de chá fosse colocada, com o peso as pernas se moviam para frente e para trás.
- Na chegada ao destino a cabeça se movia para frente e a boneca se abaixava.
- Naquele momento a xícara era retirada e a boneca parava
- Quando o chá era bebido e a xícara devolvida à boneca, a mesma girava em 360° e voltava à posição inicial vertical.

Por décadas o conceito karakuri tem sido o elemento central da filosofia Lean, que se refere a automações simples e inteligentes de processos baseados em princípios físicos, sem drivers, sem sensores, eletricidade e ar comprimido. A intenção é usar os recursos que já estão disponíveis (<http://karakuri.item24.de/>)

Para Sawaguchi (2016), o conceito karakuri está associado com as práticas japonesas de manufatura atuais, os quais são mecanismos que são ativados por molas, engrenagens e outros mecanismos. Especificamente o conceito karakuri usa ingenuamente as leis da gravidade, princípios de alavancas, polias e catracas. O que está escondido por trás deste conceito é algo obrigatoriamente simples de fazer, feito à mão e de baixo custo, itens estes mandatórios para o cenário competitivo atual. Além disso, o conceito karakuri, tem alta relevância no campo de inivação devido sua influência na tecnologia robótica das indústrias de ponta do Japão.

Sawaguchi ainda menciona que empresas que no passado buscavam implementar automações complexas com robôs e AGVs (auto guided vehicle) esgotaram o máximo a implementação de conceitos karakuri antes das automações totais de seus processos.

Essa influência, nas aplicações em robôs ou robótica, automações de baixo custo (LCA) e conceitos de manufatura enxuta (Lean Manufacturing) ainda continua (Olson,2000). Dessa forma, estes mecanismos são agora usados para produzir ou manusear de modo mais fácil e para melhorar produtividade e reduzir riscos ergonômicos. A característica mais significativa do uso de

karakuri é o mínimo impacto no meio ambiente porque consomem pouca ou nenhuma energia (JIPM 2009).

A proposta de utilização do conceito de karakuri é automatizar uma operação específica. Esse conceito é usado para facilitar operações e atividades usando mecanismos simples e de baixo custo para aumentar a produtividade que utiliza princípios naturais como, por exemplo, gravidade, polias, engrenagens, propriedades físicas e outros (Murata 2015)

Os princípios básicos de karakuri são:

- Não usar mãos humanas; mover objetos automaticamente.
- Não gastar dinheiro
- Usar a energia do seu equipamento
- Construir com a sabedoria e criatividade das pessoas da manufatura
- Para segurança, não acreditar somente na atenção das pessoas, mas sim que ele pare automaticamente.

Neste conceito são usados mecanismos simples baseados em princípios naturais. Estes princípios são: mecânicos, hidromecânicos, magnetismo, eletricidade, sons, ótica e propriedades físicas como gravidade por exemplo.

No Quadro 5 estão listados os recursos enxutos disponíveis para o uso do conceito karakuri

QUADRO 5: A LISTA DE RECURSOS BASEADOS EM CADA TECNOLOGIA. (MURATA 2015)

Módulo Enxuto de Tecnologia	Proposta Principal	Tecnologia Elemental	Propriedades
Conceito Karakuri	Automação	Princípios naturais de engenharia	<ul style="list-style-type: none">● Mecânica● Hidromecânica● Magnetismo● Eletricidade● Ótica● Propriedades físicas

Esta lista inclui respectivamente o Módulo Enxuto de tecnologia, a Proposta Principal, a Tecnologia Elemental e as Propriedades.

O Módulo Enxuto de Tecnologia é o meio em que a Proposta Inicial irá atingir sua meta. A Tecnologia Elemental são os elementos descritos nas Propriedades.

Com base no Quadro 6 ilustrado acima, Murata (2015) desenvolveu uma matriz que permite reconhecer os elementos para decisão para utilização do conceito karakuri por meio da observação do processo. Com a matriz, é possível direcionar o recurso enxuto tecnológico otimizando assim a aplicação do conceito como pode ser observado no Quadro 4.

QUADRO 6: MATRIZ DE INTEGRAÇÃO DE KARAKURI. FONTE:(MURATA, 2015).

Elemento Físico	Mecânica	Hidromecânica	Magnetismo	Eletricidade	Som	Gravidade
Gatilho						
Peso						
Número						
Posição						
Pedido						
Tempo						
Tempo de vida da peça						

No eixo vertical estão os fatores de “gatilho” do karakuri. De fato, estes elementos serão escolhidos como elementos que iniciam a partida do movimento.

No eixo horizontal estão os elementos físicos: mecânicos, hidromecânicos, magnetismo, eletricidade, som, ótica e propriedades. Estes elementos combinados com os elementos de partida caracterizarão o karakuri.

De acordo com Masin (2016), o conceito karakuri é utilizado em diversas aplicações: desenvolvimentos e instalação de sistemas que não emitem CO₂; mecanismos que consomem energia para movimentar objetos aumentando a eficiência energética; utilização de esforços desnecessários pelo ser humano; uso de tecnologia que não utiliza eletricidade.

Na Figura 9, Masin destaca um exemplo de aplicação do conceito karakuri baseado no uso de gravidade por deslocamento de peso.

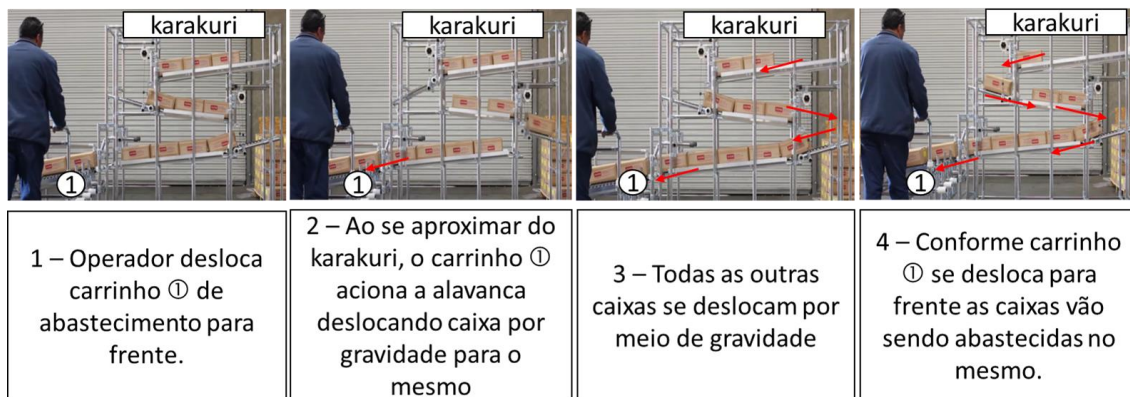


FIGURA 9: EXEMPLO DE CONCEITO KARAKURI PARA MOVIMENTAÇÃO DE CAIXAS PARA ABASTECIMENTO. FONTE: (MASIN, 2016)

Na Figura 9, os passos 1 e 2 descrevem as ações que iniciam o gatilho para o funcionamento do conceito karakuri. Nesses passos, o carrinho ① ao se deslocar para iniciar seu abastecimento aciona uma alavanca de libera uma caixa pela ação da gravidade. No passo 3, como efeito do passo 1 e 2, as outras caixas que estão alocadas no karakuri sem movimentam para os outros níveis para consecutivamente serem abastecidas no mesmo carrinho ①.

Nas operações de produção, Yamazaki (2017) menciona que os custos dos equipamentos para fabricação de qualquer produto são 60% do investimento total no caso da manufatura de componentes automotivos. Os 40% restantes do investimento total são custos com manuseio de materiais, como por exemplo transferência de peças. Estas operações, para Yamazaki, não agregam valor.

Na situação citada por Murata (2015), o carrinho se movimenta trazendo a peça para o Processo 2. Este caso foi colocado na matriz de análise, mostrada na Figura 10, para mapeamento e investigação do número da célula, número de mecanismos karakuri e etc..

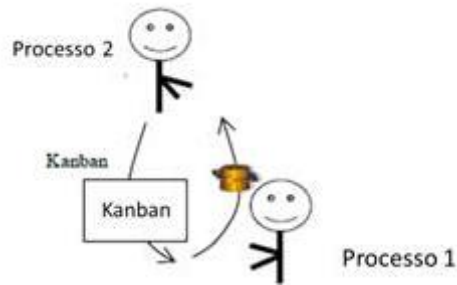


FIGURA 10: ESTAÇÕES DE TRABALHO PRÓXIMAS COM MANUSEIO DE PEÇAS.

A Figura 11 apresenta um caso típico de karakuri mostra um carrinho entregando uma peça tracionado por uma polia com um peso. O “carrinho” está no Processo 1 por meio do kanban o Processo 2 requisita a peça.

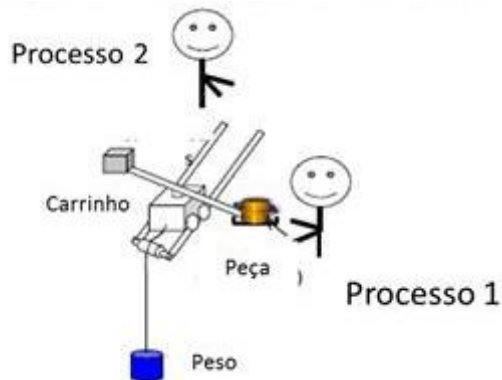


FIGURA 11: ESTAÇÕES DE TRABALHO PRÓXIMAS COM MANUSEIO DE PEÇAS POR MEIO DE KARAKURI.

No indicador de qualidade percebeu-se que a acuracidade do uso do conceito garantiu o fluxo de uma peça. Em relação ao custo o mesmo conceito foi desenvolvido internamente e com material disponível. Trata-se também de um sistema simples com componentes encontrados facilmente. Percebeu-se também uma redução no tempo de entrega pois a havia sempre uma peça, bem como o aumento da produtividade, além da melhora em relação a segurança devido a redução da distração dos colaboradores. Portanto acidentes e danos à saúde serão reduzidos. Há ganhos também no aspecto ambiental, pois o mecanismo não utiliza de nenhuma fonte de eletricidade (Murata 2015).

No ramo da agricultura existem vários tipos de manuseio durante as atividades no decorrer do ano. Fazendeiros tem que mover objetos do chão para uma

esteira, ou pallet, como por exemplo, na movimentação de sacos de vegetais ou compostos animais. A maioria destas operações são triviais, repetitivas e requerem muita energia e força entregues pelos colaboradores ou tecnologia.

Na Figura 12, é claro observar que o uso do conceito karakuri pode ser aplicado não importa o ramo da atividade. Seja ele de natureza automotiva, química, alimentícia ou até mesmo agricultura.



FIGURA 12: EXEMPLO DE USO DE ESTEIRAS MOVIDAS POR CORRENTES PARA SACOS E EMBALAGENS DE VEGETAIS. FONTE: (MAŠÍN 2016).

As aplicações no ambiente fabril são várias, o segredo está em observar o movimento que gera desperdício que são operações que não geram valor ao produto. Segundo Maximiano (2005) agregar valor significa realizar operações de transformação de materiais e componentes estritamente relacionados com a elaboração de um produto. Diminuindo os desperdícios diminui os custos de produção sem comprometer o valor final do produto para o cliente. Desperdício é o contrário de agregação de valor, uma ideia fundamental nos sistemas enxutos de produção.

3. MÉTODO DE PESQUISA

O estudo de caso foi desenvolvido em uma empresa do setor automotivo no ramo de autopeças que atua como fornecedor primário para montadoras de carros. Esta empresa é caracterizada como multinacional de grande porte com fornecedores nacionais e internacionais localizada em uma região metropolitana, a qual é considerada um polo automobilístico.

A análise da aplicação dos conceitos *Karakuri* será realizada em 3 diferentes células de manufatura do tipo *Seru*, ou seja, células de trabalho semiautomáticas que são flexíveis para trabalhar com vários tipos de produtos caracterizados por famílias de produtos que possuem dimensões padrão pré-estabelecidas. As células de manufatura foram definidas em função da disponibilidade e interesse da empresa pela análise e implementação.

Uma vez caracterizada a empresa estudada, a análise do estudo de caso foi realizada conforme o protocolo de pesquisa apresentado no Quadro 7. O protocolo de pesquisa é composto pelas questões de pesquisa; Método de coleta dos dados; responsáveis e Meios de Controle da Pesquisa.

A Questão 1 têm como objetivo identificar a célula de manufatura a ser estudada, caracterizar as operações que compõem o processo, avaliar o tempo de ciclo de cada operação, caracterizar os principais recursos e o seus respectivos custos operacionais de cada operação do processo. Para auxiliar na coleta das informações desta etapa foi desenvolvido a Tabela 1.

TABELA 1: CARACTERIZAÇÃO DA CÉLULA DE MANUFATURA A SER ESTUDADA. FONTE: PRÓPRIO AUTOR.

Nº	Processo	Recurso	Custo Operacional (R\$/Ano)	○	□	⇨	△	D	Tempo de ciclo (em segundos)	Ação
1	Processo 1			○	□	⇨	△	D		
2	Processo 2			○	□	⇨	△	D		
3	Processo 3			○	□	⇨	△	D		
4	Processo 4			○	□	⇨	△	D		
5	Processo 5			○	□	⇨	△	D		

Na questão 1 destaca-se que os custos operacionais dos principais recursos de cada operação do processo serão utilizados para a avaliação do retorno financeiro da implementação do sistema de automação de baixo custo baseado no conceito *Karakuri*. Os valores são obtidos com auxílio do setor de contabilidade operacional da empresa e normalmente não consideram toda as variáveis do custo de produção, o que não necessariamente irá refletir o custo final de produção.

QUADRO 7: PROTOCOLO DE PESQUISA. FONTE: PRÓPRIO AUTOR.

Questão de pesquisa		Meio de coleta de dados	Responsáveis	Meios de controle da pesquisa
1	Identificação e caracterização da célula de Manufatura a ser estuda	Observação direta no posto de trabalho; Cronoanálise; Caracterização de Processos (Tabela 1)	Pesquisador	Definição e Caracterização das 3 Células de Manufatura
2	Comparação da taxa de produção em relação ao <i>Takt Time</i>	Distribuição do tempo padrão de processos (Figura 10)	Pesquisador	Tempo de Ciclo das Operações e <i>Takt Time</i> ;
3	Aplicação de kaizen para eliminação máxima de desperdícios	Observação e avaliação do kaizen	Equipe de Melhoria Contínua da Fábrica	Avaliação e Implementação das melhorias no processo
4	Utilização da matriz de de integração do conceito.	Observação direta no posto de trabalho; Distribuição do tempo padrão de processos (Figura 10)	Equipe de Melhoria Contínua da Fábrica	Identificação das soluções de automação baseadas no conceito <i>Karakuri</i>
5	Disponibilizar recursos para que os colaboradores da produção executarem as soluções propostas por eles mesmos.	Instalação física das melhorias na linha da manufatura	Operadores de máquina	Solução de automação baseada no conceito <i>karakuri</i>
6	Avaliação da implementação do conceito <i>karakuri</i>	Observação direta no posto de trabalho; Caracterização de Processos (Tabela 1); Distribuição do tempo padrão de processos (Figura 10)	Pesquisador	Indicadores de produtividades de retorno de investimento

A Questão 2 têm por objetivo avaliar se a taxa de produção da operação gargalo e, conseqüentemente do processo atende à demanda do cliente (*Takt Time*). Para isso, a taxa de produção da operação gargalo deve ser igual ou superior ao *Takt Time*. A informação do *Takt Time* é fornecida pelo departamento de planejamento de processo ou departamento de planejamento e controle da produção.

O Takt Time e a taxa de produção podem ser obtidos conforme as equações 1 e 2.

$$TK = \frac{PP}{DE} \quad [1]$$

$$T_{xp} = \frac{T_{cg}}{RE \cdot LO} \quad [2]$$

Em que:

Tk = Takt Time (minutos por item)

Txp = Taxa de Produção do Processo (segundos por item)

PP = Período de Produção (segundos)

DE = Demanda (item)

Tcg = Tempo Padrão da operação gargalo

RE = número de recursos da operação

LO = Lote de Produção

LT = Lead Time (Tempo de atravessamento)

Txg = Taxa de Produção Gargalo

A Figura 13 mostra os tempos de cada operação de acordo com a cronoanálise realizada bem como o tempo de ciclo total da operação (Tc) e takt time (Tk).

Figura 13: DISTRIBUIÇÃO DOS TEMPOS PADRÃO DE PROCESSOS. FONTE: PRÓPRIO AUTOR).

Distribuição dos tempos dos processos de produção																				
Descrição da atividade	Tempo de Ciclo/ Taxa de produção		Taxa de Produção (seg																	
			15	30	45	60	Tx	LT	Tk											
Atividade 1	Tc [seg]	Antes																		
		Depois																		
Atividade 2	Txp [seg]	Antes																		
		Depois																		
Atividade 3	Tc [seg]	Antes																		
		Depois																		
Atividade 4	Txp [seg]	Antes																		
		Depois																		
Atividade 5	Tc [seg]	Antes																		
		Depois																		

Na Figura 13 de Distribuição de tempos padrão, na primeira coluna na vertical “Descrição da Atividade”, estão dispostas as descrições das atividades de cada processo. Nesta coluna estão listadas as operações executadas pelos operadores consecutivamente. Na coluna “Tempo de Ciclo/Taxa de Produção”, estão indicados os tempos coletados por meio de cronoanálise como descrito na Questão 1 do protocolo de pesquisa. Na mesma coluna é possível indicar o tempo depois da atividade de kaizen e ou, como analisado neste estudo de caso, a implementação do conceito karakuri. Na coluna “Taxa de Produção” está disposta a escala de tempo e onde os tempos serão alocados, facilitando assim a visualização de todos os tempos do processo.

Caso a taxa de produção do processo ser inferior ao *Takt Time* deve-se encerrar a implementação da automação baseado no conceito Karakuri e encaminhar o processo para melhoria da operação gargalo.

A Questão 3 têm por objetivo otimizar o processo e, conseqüentemente eliminar as fontes de desperdícios antes da implementação da automação. Para isso, é utilizado um time de melhoria de processo, o qual utilizou a

metodologia de kaizen junto à metodologia PDCA para consolidar a melhoria de maneira contínua.

Esse time de melhoria de processos é composto por pessoas dos seguintes departamentos: Engenharia de Produção, Engenharia Industrial Total e produção. Eventualmente a atividade pode demandar a participação de pessoas dos departamentos de Segurança da Qualidade e Logística.

O ponto chave desta atividade de eliminação de desperdícios antes da aplicação do conceito karakuri é a fundamental participação da produção em todas as atividades. Eles, os operadores, são os especialistas do processo que operam, portanto são indispensáveis. A engenharia de produção foi o departamento que desenvolveu o processo produtivo, por isso conhecem as restrições técnicas dos processos. A liderança da atividade é feita pela Engenharia Industrial Total, que são especializados no Sistema Toyota de Produção (STP).

Inicialmente, os participantes se reuniram na linha de produção para realizarem a observação de atividades executadas pelos operadores e a partir desta observação fizeram um brainstorming indicando todas atividades que não agregam valor ao produto.

Uma vez listadas as atividades que não agregam valor, é feito um plano de ações para mitigar os desperdícios com ações simples como por exemplo alterações de layout, redução de deslocamento de operadores (tempo de andar), disposição de caixas no abastecimento, uso de ferramentas para facilitar o trabalho e rebalanceamento das operações.

Uma vez que todas as oportunidades de kaizen foram eliminadas, o time pode iniciar a Questão 4.

A Questão 4 tem por objetivo identificar as soluções de automação baseadas no conceito Karakuri para as operações que apresentam algum tipo de movimentação.

Para facilitar a escolha para o uso do conceito karakuri foi usada a Matriz de Suporte para integrar os módulos de atividades tecnológicas conforme ilustradas no Quadro 8.

QUADRO 8: COMBINAÇÃO DE ELEMENTOS FÍSICOS COM ELEMENTOS “GATILHO” PARA SUPORTE NA UTILIZAÇÃO DO CONCEITO KARAKURI (MURATA,2015)

Elemento Físico	Mecânica	Hidromecânica	Magnetismo	Eletricidade	Som	Gravidade
Gatilho						
Peso						
Número						
Posição						
Pedido						
Tempo						
Tempo de vida da peça						

A matriz do quadro 8 permite reconhecer os elementos para decisão para utilização do conceito karakuri por meio da observação do processo. Com a matriz, é possível direcionar o recurso enxuto tecnológico otimizando assim a aplicação do conceito.

Na Questão 5 é tratada a instalação física do conceito definido na Questão 4. Com o conceito definido, a quantidade de material é estimada e disponível para montagem. Nesse momento apenas um croqui do karakuri é necessária uma vez que a matéria prima está disponível. Não é possível desenvolver um karakuri padrão, todo sistema é customizado de acordo com a aplicação e demanda ajustes.

Na Questão 6, é necessário realizar novamente a cronoanálise do processo o qual o conceito karakuri foi instalado. Portanto, é necessário atualizar o formulário de distribuição de tempos padrão de processo demonstrando tempos de processo antes e depois da instalação do conceito indicando assim visualmente a melhoria da taxa de produção e conseqüentemente a redução de custo operacional.

Após a implementação do conceito karakuri é possível reduzir os tempos de processo e com isso aumentar a taxa de produção. Nesse momento é possível visualizar o aumento da produtividade por meio da redução do tempo de atravessamento comparando o tempo de atravessamento antes e depois. Outro indicador a ser destacado é o tempo para o retorno de investimento. O mesmo se dá pela ordem investida em reais dividido ganho total gerada pela implementação do conceito karakuri.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Conforme especificado na etapa do método de pesquisa, este estudo de caso analisou 3 diferentes células de manufatura conforme protocolo de pesquisa detalhado no Quadro 4 (Ver página 27).

4.1. CASO 1 - CÉLULA DE MANUFATURA DE INJEÇÃO PLÁSTICA 1.

A célula de manufatura do Caso 1 realiza um processo de injeção de peças plásticas de pequeno porte (400~ 700g) para montagem de componentes automotivos conforme ilustrado na Figura 14.

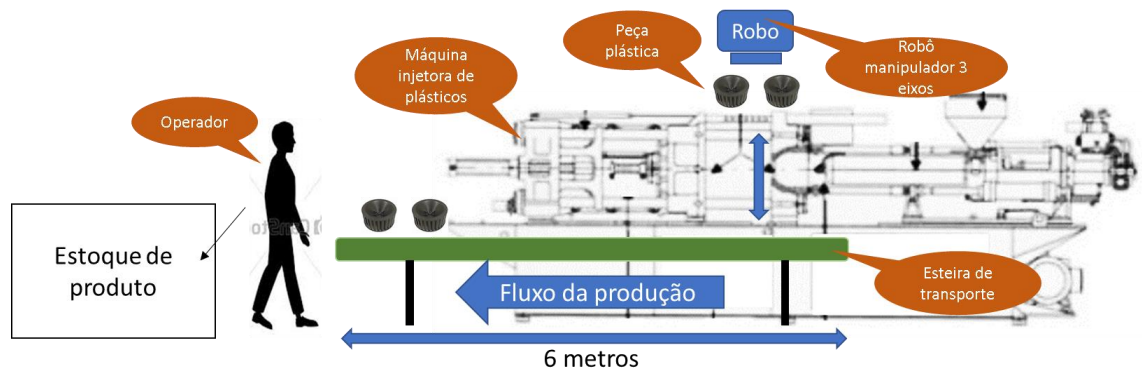


FIGURA 14: FLUXO DE PEÇAS DA CÉLULA DE MANUFATURA DE INJEÇÃO PLÁSTICA.
FONTE: PRÓPRIO AUTOR

Conforme pode ser observado na Figura 14, a célula de injeção plástica tem como característica um lote de produção unitária de 2 peças injetadas a cada ciclo de injeção, as quais são depositadas juntas na esteira de transporte. Nesta esteira de transporte movimentada por motores elétrico, as duas peças percorrem a distância de seis metros em doze segundos. No final da esteira, o operador iniciar a inspeção de qualidade e logo após realizar a embalagem.

O processo do Caso 1 é composto por 5 operações: injeção, descarregamento, movimentação, inspeção e embalagem. O tempo de ciclo obtido por meio de cronoanálise é respectivamente: 36, 4, 12, 4 e 2 segundos. O lote de produção é composto por 2 unidades, o que resulta em um tempo de atravessamento de 58 segundos e uma taxa de produção de uma peça a cada 18 segundos (Operação gargalo = Operação 1 – Injeção). A Tabela 2 ilustra as características da célula de manufatura do Caso 1.

TABELA 2: CARACTERIZAÇÃO DAS OPERAÇÕES DO PROCESSO DE INJEÇÃO, RECURSOS, TEMPO DE CICLO E AÇÕES. FONTE: PRÓPRIO AUTOR.

Nº	Processo	Recurso	Custo operacional (R\$/Ano)	○	□	⇒	△	D	Tempo de ciclo (em segundos)	Ação
1	Injeção	Máquina de injeção plástica com capacidade	R\$ 24.500,00	●	□	⇒	△	D	36	Injeta plástico derretido no molde e refrigera a peça
2	Descarregamento	Robô cartesiano de 3 eixos (1)	R\$ 7.000,00	●	□	⇒	△	D	4	Pega peça do molde e coloca na esteira
3	Movimentação	Transferencia via esteira de cinta elétrica (1)	R\$ 2.450,00	○	□	⇒	△	D	12	Movimenta a peça do ponto de descarregamento até o operador
4	Inspeção	Visual feito pelo operador (1)	R\$ 32.550,00	○	■	⇒	△	D	4	Pega a peça para inspeção visual
5	Embalagem	Manual feito pelo operador (1)	R\$ 35.000,00	○	□	⇒	△	D	2	Posiciona a peça na embalagem e desloca a caixa para o pallet

Conforme pode ser observado na Tabela 2, a célula de manufatura apresenta os seguintes recursos para cada operação do processo: 1 máquina de injeção de plástico com a capacidade de 600 T de fechamento (dedicação 100% na operação 1); 1 robô manipulador de 3 eixos (dedicação 100% na operação 2); 1 esteira de transferência elétrica (dedicação 100% na operação 3) e 1 operador (dedicação 100% nas operações 4 e 5). Os valores de custo de cada operação foram obtidos por meio do setor de controladoria, o qual foram considerados os custos de matéria-prima, energia elétrica, tributos e salários e depreciação de investimentos. O custo operacional da célula de manufatura é de R\$ 101.500,00 reais por ano sendo distribuído respectivamente nas operações de 1 a 5: R\$ 24.500,00, R\$ 7.000,00, R\$ 2.450,00, R\$ 32.550,00 e R\$ 35.000,00 reais. Este custo operacional resulta em um custo unitário de R\$ 1,60 reais por peça.

A categorização das operações por meio da simbologia de fluxo de processo (Slack *et. al*, 1996) resultou em 3 atividades do tipo “Operação”, 1 atividade do tipo “Inspeção” e 2 atividades do tipo “Movimentação”. Além disso, a observação direta no posto de trabalho evidenciou um excesso de manuseio de caixas na saída da injetora e um excesso de deslocamento de tronco por parte do operador para retirada das caixas na operação de embalagem.

O excesso de manuseio das caixas na operação resulta no aumento do tempo de ciclo e conseqüentemente reduz a produtividade. O excesso de deslocamento aumenta a fadiga e conseqüentemente afeta na segurança ergonômica do processo.

A Questão 2 tem como objetivo comparar a taxa de produção do processo com a taxa de demanda do cliente (*Takt time*). A célula de manufatura do Caso 1

apresenta um $Tk = 30 \text{ seg/item}$ (2 peç/min) e uma taxa de produção $Txp = 18 \text{ seg/item}$ (3,33 pçs/min.). Desta forma a célula de manufatura do Caso 1 consegue atender o *Takt Time* do cliente. Caso a taxa de produção fosse menor que o *Takt Time* seriam necessárias alterações para redução do tempo de ciclo da operação gargalo, o que no caso seria a melhoria do tempo de ciclo da operação de injeção como ilustrado na Figura 15.

Distribuição dos tempos dos processos de produção																										
Descrição da atividade	Tempo de Ciclo/ Taxa de produção	Taxa de Produção (segundos por item)																								
		15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180													
Injeção	T_c [seg]	Antes																								
		Depois																								
	T_{xp} [seg]	Antes																								
		Depois																								
Descarregamento	T_c [seg]	Antes																								
		Depois																								
	T_{xp} [seg]	Antes		4																						
		Depois																								
Movimentação	T_c [seg]	Antes																								
		Depois																								
	T_{xp} [seg]	Antes																								
		Depois																								
Inspeção	T_c [seg]	Antes																								
		Depois																								
	T_{xp} [seg]	Antes		4																						
		Depois																								
Embalagem	T_c [seg]	Antes																								
		Depois																								
	T_{xp} [seg]	Antes		2																						
		Depois																								
Tempo Total																										

FIGURA 15: FLUXO DE PEÇAS DA CÉLULA DE MANUFATURA DE INJEÇÃO PLÁSTICA.

FONTE: PRÓPRIO AUTOR.

Após a comparação do *Takt Time*, inicia-se o processo de otimização do tempo de atravessamento. Esta etapa é importante para identificar e eliminar os tempos das operações que não agregam valor ao processo e com isso garantir que automação não seja realizada em operações que não agregam valor.

Considerando a Figura 15, apenas a atividade 1 (operação de injeção) agrega valor ao produto. As demais operações não agregam valor para o cliente final.

Com isso a equipe de melhoria contínua atuou na análise das operações que não agregam valor e identificou oportunidades de melhoria/eliminação da operação de inspeção. Para isso foi identificado que o maior problema da inspeção era o problema de acabamento da peça plástica. Para isso, foram

alterados os parâmetros de injeção que permitiram a eliminação da operação de inspeção.

Com isso o tempo de atravessamento alterou-se de 58 para 54 segundos.

A premissa para aplicação do conceito karakuri é a eliminação/redução de desperdícios de movimentos para evitar que desperdícios sejam automatizados, (Yamazaki, 2017).

Na Figura 16 é possível observar que a premissa de eliminação de desperdícios foi atendida quando a atividade de inspeção que não agrega valor foi eliminada por meio de kaizen. O processo de injeção foi otimizado melhorando a condição de qualidade da peça a ponto de eliminar a necessidade de inspeciona-la. Com isso a Questão 3 do Protocolo de Pesquisa foi atendida.

			Distribuição dos tempos dos processos de produção																					
Descrição da atividade	Tempo de Ciclo/ Taxa de produção		Taxa de Produção (segundos por item)																					
			15	30	45	60																		
Injeção	Tc [seg]	Antes																						
		Depois																						
	Txp [seg]	Antes																						
		Depois																						
Descarregamento	Tc [seg]	Antes																						
		Depois																						
	Txp [seg]	Antes	4																					
		Depois	4																					
Movimentação	Tc [seg]	Antes																						
		Depois																						
	Txp [seg]	Antes																						
		Depois																						
Inspeção	Tc [seg]	Antes																						
		Depois																						
	Txp [seg]	Antes	4																					
		Depois	0																					
Embalagem	Tc [seg]	Antes																						
		Depois																						
	Txp [seg]	Antes	2																					
		Depois	2																					
Tempo Total																								

FIGURA 16: DISTRIBUIÇÃO PADRÃO DE INJEÇÃO PLÁSTICA APÓS APLICAÇÃO DE KAIZEN PARA ELIMINAÇÃO DE DESPERDÍCIO. FONTE: PRÓPRIO AUTOR

Após a melhoria do processo (Questão 3), a próxima etapa é a identificação das atividades que podem ser automatizadas por meio do conceito karakuri.

Para identificação das operações com potencial de automação foram consideradas as operações do tipo transporte conforme Tabela 2 (pág. 33).

Nas atividades de injeção e descarregamento não se aplicam o conceito de karakuri pois são atividades inerentes ao processo de injeção. Já nas atividades de movimentação (Atividades 3) e embalagem (Atividade 5) é possível notar excesso de movimentos que caracterizam desperdícios. Assim matriz de elementos também apresentou a possibilidade de aplicar o conceito de karakuri nas operações de movimentação e embalagem.

Conforme pode ser observado nas atividades 3 e 5, as mesmas apresentam as seguintes características:

- Atividade 3 – Movimentação da peça do ponto de descarregamento por 6 metros até o operador na outra ponta.
- Atividade 5 – Posicionamento manual da peça e deslocamento do operador para colocar a caixa com peças no pallet.

Considerando a matriz de elementos físicos, a automação das atividades 3 e 5 baseadas no conceito karakuri devem conter os gatilhos pelo elemento físico de gravidade como mostrado no Quadro 9.

**QUADRO 9: MATRIZ DE ELEMENTOS FÍSICOS PARA ESCOLHA DE CONCEITO KARAKURI.
FONTE: PRÓPRIO AUTOR**

Elemento Físico \ Gatilho	Mecânica	Hidromecânica	Magnetismo	Eletricidade	Som	Gravidade
Peso						Caso1
Número						
Posição						
Pedido						
Tempo						
Tempo de vida da peça						

O Quadro 9 ilustra a análise das atividades 3 e 5 em relação aos elementos físicos do conceito karakuri e auxilia na escolha do conceito de karakuri a ser utilizado. Na horizontal estão os elementos físicos disponíveis, no Caso 1 o conceito karakuri utilizou o elemento físico por gravidade para deslocar as peças. Na vertical estão os gatilhos que iniciaram o movimento indicado no eixo horizontal. No Caso 1, o peso das caixas faz com que as peças se desloquem automaticamente após acionamento do robô.

Assim como apresentado na Questão 5 do Protocolo de Pesquisa, foram disponibilizados todos os recursos para instalação do conceito karakuri.

Portanto, o primeiro passo para aplicar o conceito de karakuri é realizar um croqui com a atividade de movimentação a ser automatizada. O cenário passado contava com uma esteira elétrica conforme Figura 14.

Foram necessárias oito barras de tubos de alumínio com 40 milímetros de diâmetro, 36 conexões, quatro barras de roletes plásticos com capacidade de 100 quilos.

Como mostrado na matriz de elementos de Murata, o conceito karakuri que foi aplicado se deu pelo movimento gravitacional demandando assim a realização de um croqui para construção de uma nova estrutura de deslocamento como mostra a Figura 17.

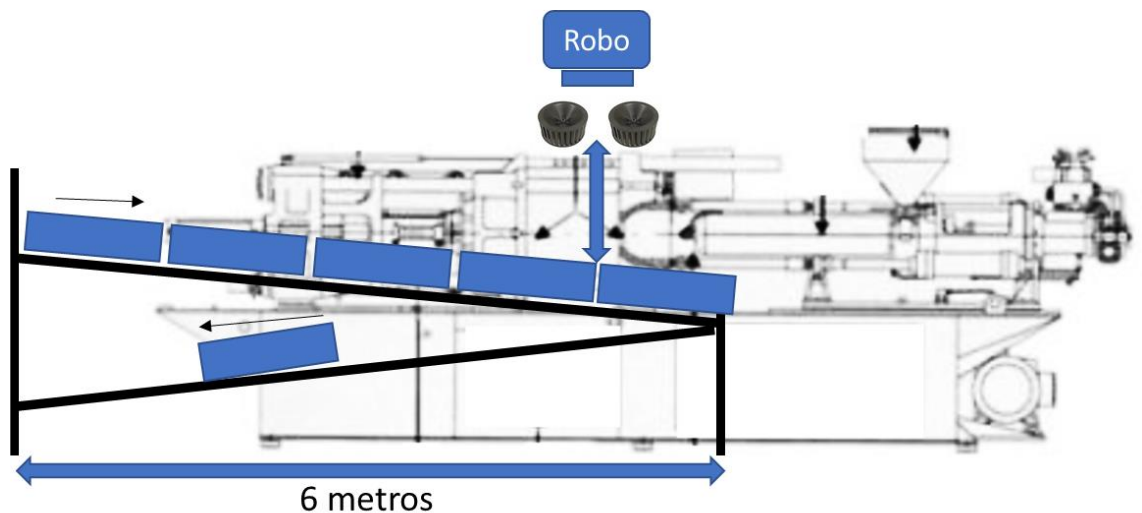


FIGURA 17: ESTRUTURA INSTALADA DO CONCEITO KARAKURI. FONTE: PRÓPRIO AUTOR.

A estrutura foi fabricada internamente e construída com 8 tubos de alumínio, quatro barras de roletes plásticos e 36 conexões. Após a construção estilo “caixa” dos tubos, foram instaladas as guias de roletes à 15° para entrada e saída das caixas garantindo assim a inércia delas. Neste momento foi eliminada também a atividade de embalagem, uma vez que o estoque foi deslocado como parte do karakuri. A Figura 18 mostra como estão distribuídos os movimentos do conceito karakuri aplicado.

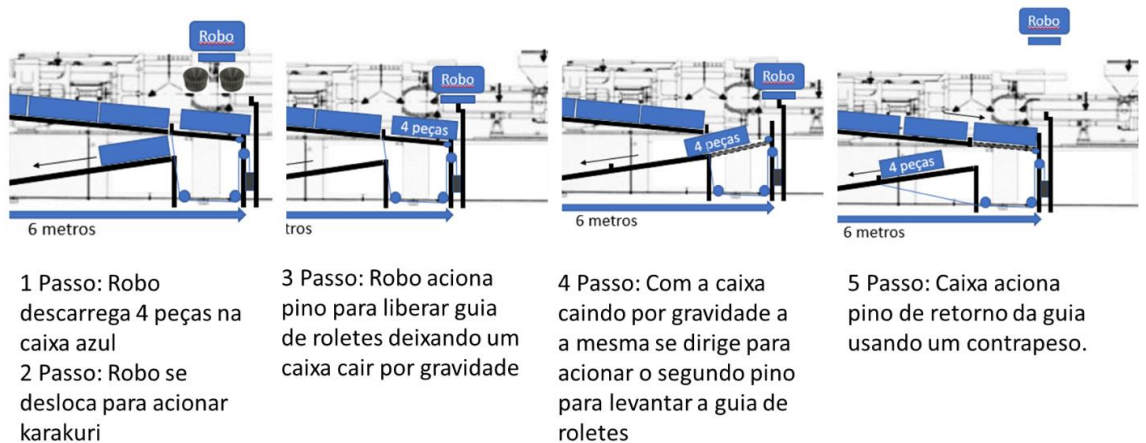


FIGURA 18: PASSOS PARA ILUSTRAÇÃO DO FLUXO DE MOVIMENTOS DO CONCEITO KARAKURI. FONTE: PRÓPRIO AUTOR

Com o conceito de karakuri instalado na célula de injeção plástica as atividades ficaram conforme a Figura 19.

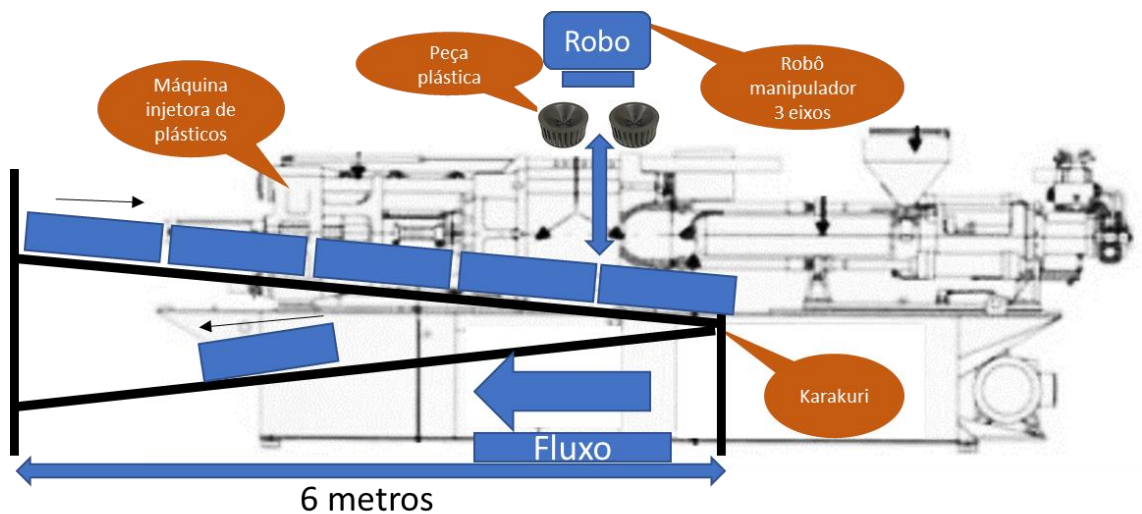


FIGURA 19: FLUXO DE PEÇAS DA CÉLULA DE MANUFATURA DE INJEÇÃO PLÁSTICA COM O CONCEITO KARAKURI. FONTE: PRÓPRIO AUTOR

Como visto na Figura 16, o conceito karakuri foi implementado na célula de manufatura de injeção plástica mantendo o fluxo de peças. Entretanto, o processo que antes era feito por esteira e operador foi substituído por uma estrutura de alumínio abastecida por caixas para 4 quatro peças as quais são deslocadas por gravidade por meio de uma barra de roletes acionada pelo peso das caixas e peças.

Assim com a implementação do conceito karakuri foi eliminada a operação de embalagem cujo tempo era 2 segundos por item. A Figura 20 mostra como ficou a Distribuição do tempo Padrão de manufatura da célula de injeção plástica.

			Distribuição dos tempos dos processos de produção													
Descrição da atividade	Tempo de Ciclo/ Taxa de produção		Taxa de Produção (segundos por item)													
							15	Txg			30			45		
Injeção	Tc [seg]	Antes														
		Depois														
	Txp [seg]	Antes					18									
		Depois					18									
Descarregamento	Tc [seg]	Antes														
		Depois														
	Txp [seg]	Antes	4													
		Depois	4													
Movimentação	Tc [seg]	Antes														
		Depois														
	Txp [seg]	Antes				12										
		Depois														
Inspeção	Tc [seg]	Antes													4	
		Depois													0	
	Txp [seg]	Antes	4													
		Depois	0													
Embalagem	Tc [seg]	Antes													58	
		Depois													54	
	Txp [seg]	Antes	2												0	
		Depois	0													
Tempo Total														50	54	

FIGURA 20: DISTRIBUIÇÃO PADRÃO DE INJEÇÃO PLÁSTICA APÓS APLICAÇÃO DE KAIZEN PARA ELIMINAÇÃO DE DESPERDÍCIO. FONTE: PRÓPRIO AUTOR

Como observado na Caracterização de Processos na Figura 20, o tempo de movimentação aumentou de 12 para 18 segundos não ultrapassando o tempo total de ciclo (50 segundos), porém com a eliminação da atividade de “embalagem” o tempo total de processo reduziu de 54 para 50 segundos por item. Dessa forma, com a aplicação do conceito karakuri foi possível ganhar a mão-de-obra de inspeção e embalagem como visto na Tabela 3.

TABELA 3: CARACTERIZAÇÃO DAS OPERAÇÕES DO PROCESSO DE INJEÇÃO, RECURSOS, TEMPO DE CICLO E AÇÕES DEPOIS DA APLICAÇÃO DO CONCEITO KARAKURI. FONTE: PRÓPRIO AUTOR.

Nº	Processo	Recurso	Custo Operacional (R\$/ano)	○	□	→	△	D	Tempo de ciclo (em segundos)	Ação
1	Injeção	Máquina de injeção plástica 600 T	R\$ 24.500,00	●	□	→	△	D	36	Injeta plástico derretido no molde e refrigera a peça
2	Descarregamento	Robô manipulador de 3 eixos	R\$ 7.000,00	●	□	→	△	D	4	Pega peça do molde e coloca direto na caixa. A cada 4 peças aciona o karakuri
3	Movimentação	Karakuri	R\$ -	○	□	→	△	D	10	Desloca por gravidade a caixa para estoque conforme o peso

Como pode-se observar, após a aplicação do conceito karakuri que eliminou as atividades 4 e 5 (Tabela 2 e Tabela 3), os custos operacionais, os quais eram de R\$ 101.500,00 reais por ano, foram reduzidos para ordem de R\$ 31.500,00 por ano (- R\$ 70.000,00). Desta forma, com a redução dos custos operacionais o valor do custo unitário foi reduzido de R\$ 1,60 reais por peça para R\$ 0,50 por peça.

O investimento na construção e implementação do conceito karakuri foi de R\$ 4.000,00 reais tornando viável o investimento cujo payback se deu em 1 mês.

4.2. CASO 2 - CÉLULA DE MANUFATURA B

A célula de manufatura do Caso 2 realiza um processo de manufatura de transformação de fios de cobre para utilização em processos posteriores. Esta célula possui uma máquina que transforma o cobre que chega em forma de bobina em fios contínuos em um perfil por meio de um processo de conformação. A Figura 21 ilustra a célula de manufatura do Caso 2.

Conforme observado na Figura 21, a célula de manufatura de transformação tem como característica o fluxo de processo unitário e continuamente dispõe fios já curvados em uma caixa. Nesta caixa, os fios são alocados de maneira desordenada. No final de cada caixa cheia, o operador organiza os fios na condição em que os mesmos fossem abastecidos no processo posterior de montagem.

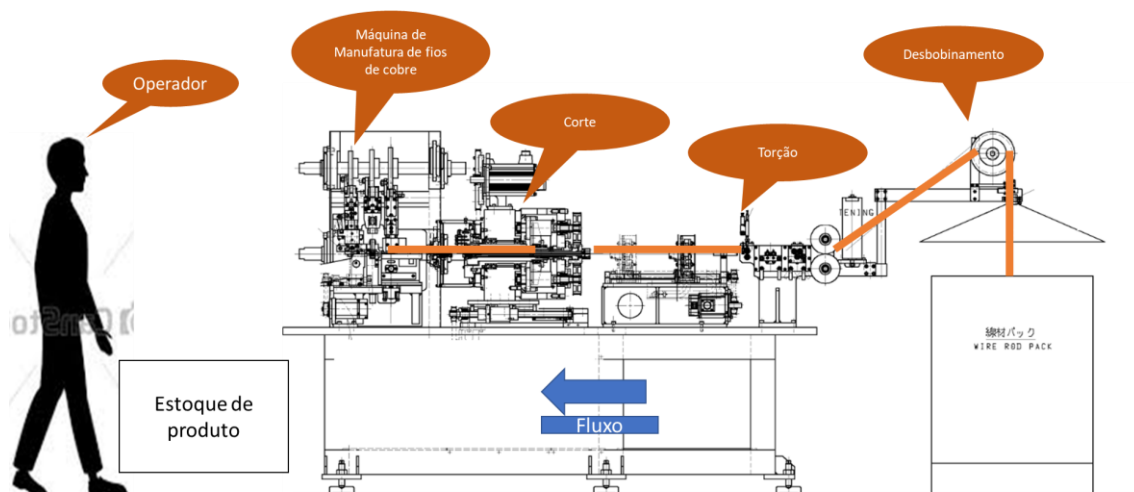


TABELA 4: PROCESSO DE MANUFATURA TRANSFORMAÇÃO DE FIOS DE COBRE PARA FABRICAÇÃO DE INDUZIDO. FONTE: PRÓPRIO AUTOR.

O processo de manufatura é composto por 5 operações: desbobinamento, torção do fio no formato de grampo, corte do fio, descarregamento e embalagem. O tempo de ciclo obtido por meio de cronoanálise é respectivamente: 1, 2, 1, 1 e 16 segundos. Não é possível destacar o lote de produção uma vez que visualmente o operador da operação de embalagem coleta a caixa cheia para o abastecimento. A Tabela 5 ilustra as características da célula de manufatura do Caso 2.

TABELA 5: CARACTERIZAÇÃO DAS OPERAÇÕES DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO FIO DE COBRE. FONTE: PRÓPRIO AUTOR.

Nº	Processo	Recurso	Custo Operacional (R\$/ano)	○	□	⇨	△	D	Tempo de ciclo (em segundos)	Ação
1	Desbobinamento	Máquina automática de desbobinamento	R\$ 12.000,00	○	□	⇨	△	D	1	Gira a bobina com o fio sentido horário para dentro da máquina
2	Torção do fio no formato de grampo	Máquina automática de desbobinamento	R\$ 1.450,00	●	□	⇨	△	D	2	Pega peça do molde e coloca na esteira
3	Corte to fio	Máquina automática de desbobinamento	R\$ 6.000,00	●	□	⇨	△	D	1	Movimenta a peça do ponto de descarregamento até o
4	Descarregamento	Máquina automática	R\$ 6.000,00	○	□	⇨	△	D	1	Pega a peça para inspeção visual
5	Embalagem	Operação manual	R\$ 45.000,00	○	□	⇨	△	D	16	Pega a peça para inspeção visual

Conforme pode ser observado na Tabela 5, a célula de manufatura apresenta os seguintes recursos para cada operação do processo: 1 máquina de

manufatura do fio de cobre com a capacidade de fabricação de 3600 peças por hora (dedicação 100% nas operações 1,2,3 e 4) e 1 operador (dedicação 50% na operação 5). Os valores de custo de cada operação, assim como no Caso 1, foram obtidos por meio do setor de controladoria, o qual foram considerados os custos de matéria-prima, energia elétrica, tributos e salários e depreciação de investimentos. O custo operacional da célula de manufatura é de R\$ 70.450,00 reais por ano sendo distribuído respectivamente nas operações de 1 a 5: R\$ 12.000,00, R\$ 1.450,00, R\$ 6.000,00, R\$ 6.000,00 e R\$ 45.000,00 mil reais.

Na Questão 2 foi possível comparar a taxa de produção do processo com a taxa de demanda do cliente (*Takt time*). A célula de manufatura do Caso 2 apresenta um *Takt Time* de 2500 pçs/hora e uma taxa de produção de 3000 pçs/hora. Desta forma a célula de manufatura do Caso 2 consegue atender o *Takt Time* do cliente.

No Caso 2, o tempo atravessamento é igual ao tempo de ciclo uma vez que este considera o momento em que o fio entra na máquina e o fio no formato final sai da máquina conforme Figura 21.

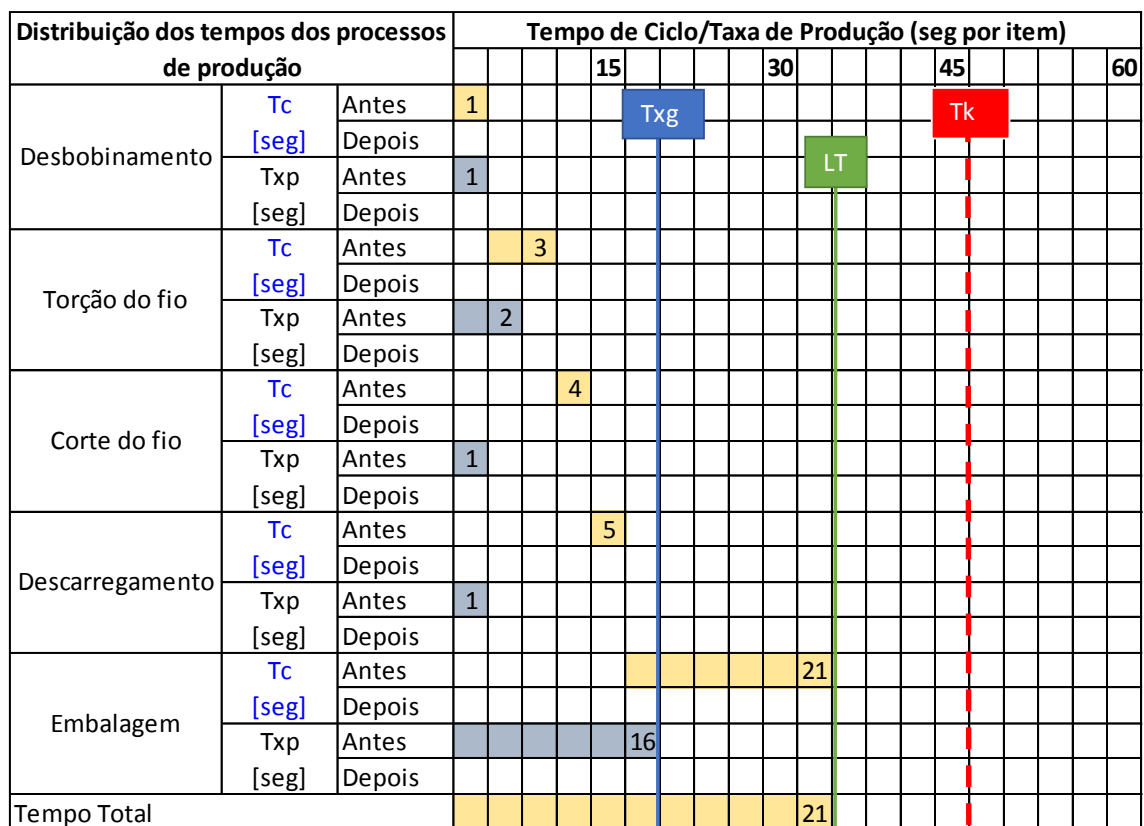


FIGURA 21: DISTRIBUIÇÃO PADRÃO DE TEMPOS DO PROCESSO DO CASO 2. FONTE: PRÓPRIO AUTOR

Como identificado na Questão 3, com o conhecimento dos tempos de processo, resta destacar as atividades que não agregam valor ao produto.

Dessa forma, a equipe de melhoria contínua se reuniu para identificar atividades potenciais que não agregam valor. No Caso 2 por ser um processo automático não foi possível identificar desperdícios de movimentação nem da operação automática nem da operação manual. Dessa forma, o tempo de atravessamento se manteve 21 segundos.

Após a Questão 3, a próxima etapa foi a identificação das atividades que podem ser automatizadas por meio do conceito karakuri. No Caso 2, as atividades 1,2,3 e 4 consecutivamente desbobinamento, torção do fio no formato de grampo, corte do fio e descarregamento não atividades realizadas pela máquina de modo automático inviabilizando a aplicação do conceito karakuri. Restou dessa forma, a atividade 5 de embalagem, que demanda a operação manual de um operador. Nessa atividade, a máquina dispunha automaticamente os fios aleatoriamente dentro de uma caixa para serem abastecidos em outro processo.

O Quadro 10 ilustra a análise da atividade 5 em relação aos elementos físicos do conceito karakuri.

*QUADRO 10: MATRIZ DE ELEMENTOS FÍSICOS PARA ESCOLHA DE CONCEITO KARAKURI.
FONTE: PRÓPRIO AUTOR*

Elemento Físico	Mecânica	Hidromecânica	Magnetismo	Eletricidade	Som	Gravidade
Gatilho						
Peso						
Número						
Posição	Caso2					
Pedido						
Tempo						
Tempo de vida da peça						

O conceito karakuri do Caso 2 apresentou uma característica de acionamento pela posição e movimento por meio de mecânica.

O sistema de funcionamento do conceito karakuri do Caso 2 utilizou uma guia em formato de chapa em aço inoxidável, de dimensões 2 metros de comprimento por 250 milímetros de altura e 0,5 milímetros de espessura, suportados por uma base em metalon instalados com 15º graus de inclinação em relação ao chão. Neste sistema, foi instalado um sensor indutivo o qual indica a posição dos fios durante o percurso pela chapa. Portanto, quando os fios em formato de grampo alcançarem o sensor o mesmo informa a máquina que a chapa está completa e a mesma para o funcionamento.

O sistema físico que movimenta os fios todo o percurso da chapa é composto por um sistema vibratório pneumático justificando a escolha do elemento físico “mecânica”. Este sistema recebe a pressão de 6 bar que aciona membranas internas transformando a passagem do ar em vibração mecânica que combinado com a inclinação de 15° faz com que os fios se desloquem automaticamente pela chapa.

A Figura 22 ilustra como ficou o conceito karakuri do Caso 2 após implantação.

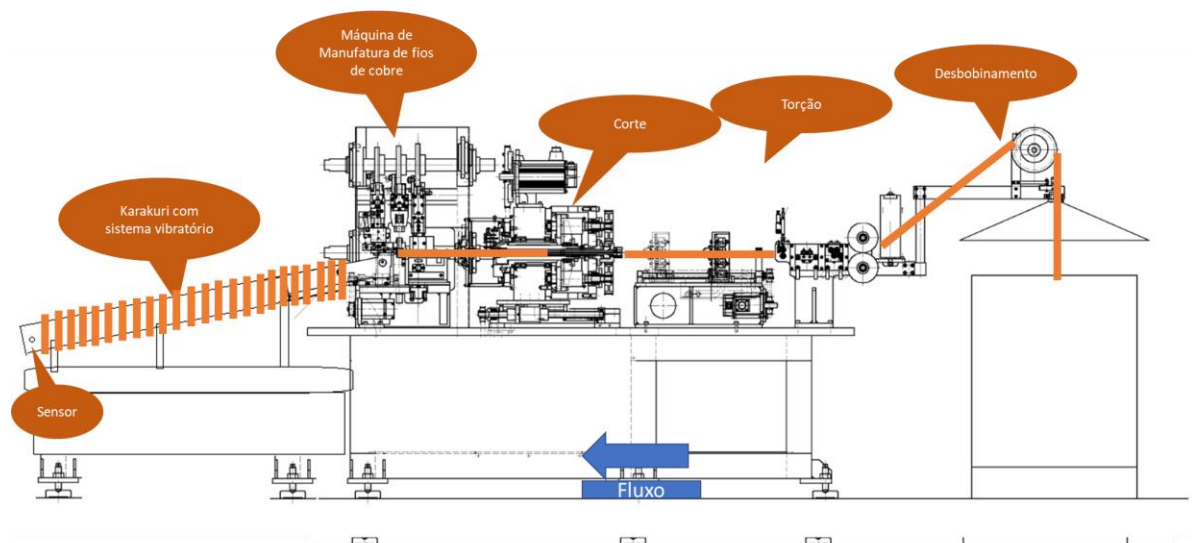


FIGURA 22: PROCESSO DE MANUFATURA TRANSFORMAÇÃO DE FIOS DE COBRE PARA FABRICAÇÃO DE INDUZIDO APÓS IMPLEMENTAÇÃO DE CONCEITO KARAKURI. FONTE: PRÓPRIO AUTOR.

Com a implementação do conceito karakuri no Caso 2, resta agora atualizar os processos e a distribuição padrão com os tempos de movimentação visualizando assim os ganhos como descrito na Questão 6 do protocolo de pesquisa.

A Tabela 6 ilustra os processos de manufatura do fio de cobre após implementação do conceito karakuri.

Como visto na Tabela 6, as atividades de desbobinamento, torção de fio no formato de grampo, corte do fio não sofreram alteração. Por outro lado, a atividade de embalagem foi reduzida de 16 segundos para 4 segundos com a instalação do conceito karakuri.

TABELA 6: OPERAÇÕES DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO FIO DE COBRE. FONTE: PRÓPRIO AUTOR

Nº	Processo	Recurso	Custo Operacional (R\$/ano)	○	□	⇨	△	D	Tempo de ciclo (em segundos)	Ação
1	Desbobinamento	Máquina automática de desbobinamento	R\$ 12.000,00	○	□	⇨	△	D	1	Gira a bobina com o fio sentido horário para dentro da máquina
2	Torção do fio no formato de grampo	Máquina automática de desbobinamento	R\$ 1.450,00	●	□	⇨	△	D	2	Molda o fio no formato desejado
3	Corte to fio	Máquina automática de desbobinamento	R\$ 6.000,00	●	□	⇨	△	D	1	Corta o fio no formato desejado
4	Descarregamento	Máquina automática	R\$ 6.000,00	○	□	⇨	△	D	1	Dispoe fio na caixa
5	Embalagem	Operação manual	R\$ 15.000,00	○	□	⇨	△	D	4	vibração por meio de conceito karakuri

Com isso o tempo de atravessamento saiu de 21 segundos para 17 segundos o que resultou na eliminação da necessidade da operação de manuseio pelo homem.

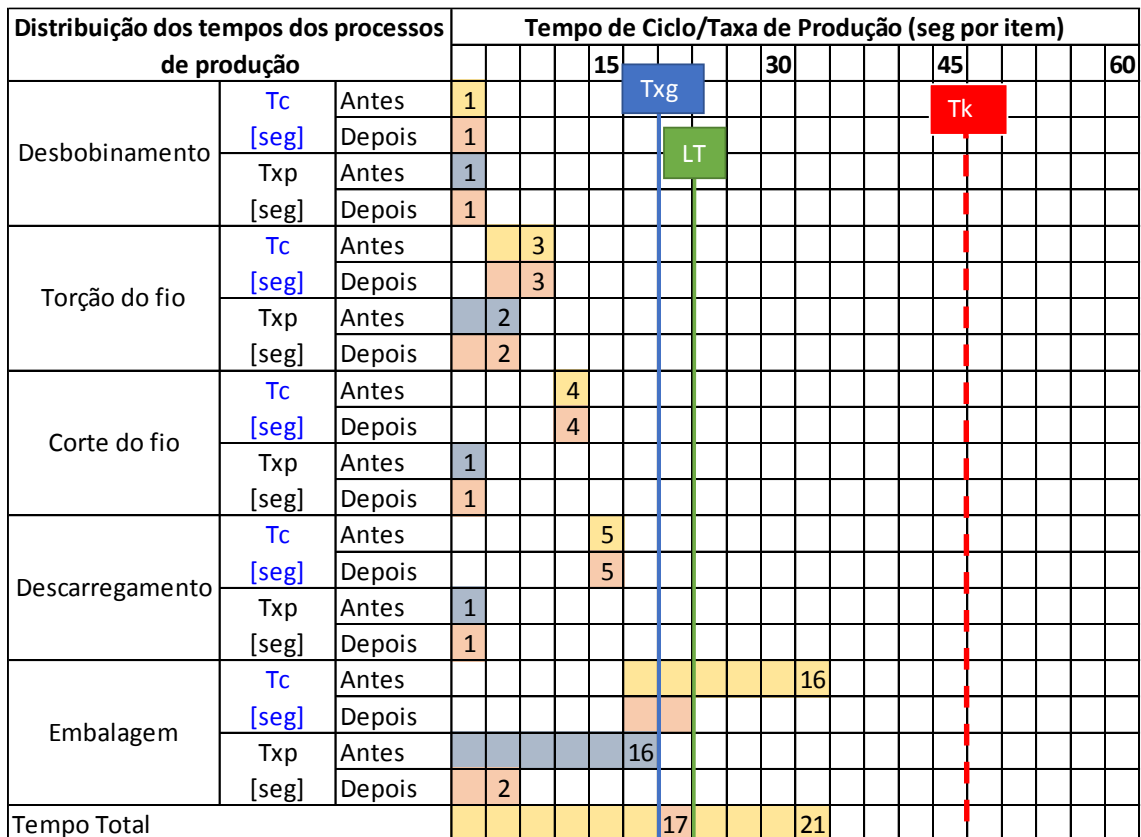


FIGURA 23: DISTRIBUIÇÃO PADRÃO DE TEMPOS DO PROCESSO DO CASO 2. FONTE: PRÓPRIO AUTOR

O processo de manufatura dos fios de cobre, portanto, dispõe atualmente de um conceito karakuri vibratório de embalagem o qual conseguiu reduzir por meio da redução do tempo de atravessamento total a necessidade da operação manual. Esta implantação gerou uma redução na ordem de R\$30.000,00 por ano.

O investimento necessário para implementação do conceito karakuki foi de R\$ 4.500,00 que contabilizam as horas pagas ao setor de ferramentaria interna. Com isso o payback se deu em menos de 1 mês.

4.3. CASO 3 - CÉLULA DE MANUFATURA C

O Caso 3, cuja célula de manufatura realiza um processo de injeção plástica, injeta componentes plásticos pequenos (50g ~ 100g) para montagem de componentes automotivos conforme ilustrado na Figura 24.

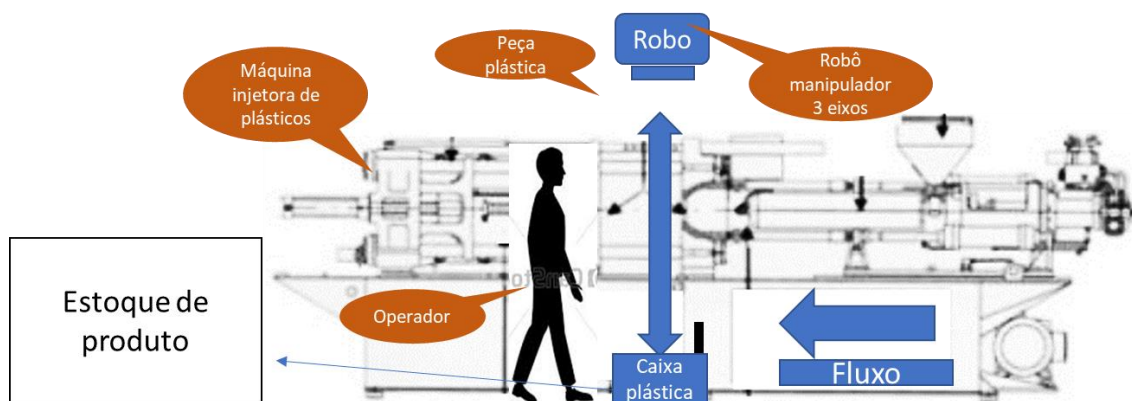


FIGURA 24: FLUXO DE PEÇAS DA CÉLULA DE MANUFATURA DE INJEÇÃO PLÁSTICA.
FONTE: PRÓPRIO AUTOR.

Como pode ser observado na Figura 24, a célula de injeção plástica tem como característica o fluxo duplo de processo onde a cada ciclo de injeção quatro peças são colocadas por vez na caixa. Nesta caixa cabem aproximadamente 400 peças. No final do enchimento da caixa, o operador transporta a mesma para o estoque de maneira manual.

O processo de injeção do Caso 3 é composto por 4 operações: injeção, descarregamento, deslocamento e embalagem. O tempo de ciclo obtido por meio de cronoanálise é respectivamente: 12, 4, 8, 4 e 4 segundos. O lote de produção é composto por 4 unidades, o que resulta em um tempo de atravessamento de 32 segundos e uma taxa de produção de uma peça a cada

3 segundos (Operação gargalo = Operação 1 – Injeção) como pode se observar na Tabela 7.

TABELA 7: OPERAÇÕES DO PROCESSO DE INJEÇÃO, RECURSOS, TEMPO DE CICLO E AÇÕES. FONTE: PRÓPRIO AUTOR.

Nº	Processo	Recurso	Custo Operacional (R\$/ano)	○	□	⇨	△	D	Tempo de ciclo (em segundos)	Ação
1	Injeção	Máquina automática de desbobinamento	R\$ 12.000,00	●	□	⇨	△	D	12	Injeta plástico derretido no molde e refrigera
2	Descarregamento	Robo manipulador de 3 eixos	R\$ 7.000,00	○	□	⇨	△	D	4	Pega peça do molde e coloca na caixa para rebarbar
3	Rebarbação	Operação manual	R\$ 10.000,00	●	□	⇨	△	D	8	Pega peça da caixa e tira rebarba de injeção
4	Deslocamento	Operação manual	R\$ 10.000,00	○	□	⇨	△	D	4	Pega a caixa do chão e coloca no pallet
5	Embalagem	Operação manual	R\$ 10.000,00	○	□	⇨	△	D	4	Empilha e organiza as caixas no pallet

Como visto na Tabela 7, a célula de manufatura apresenta os seguintes recursos para cada operação do processo: 1 máquina de injeção de plástico com a capacidade de 450T de fechamento (dedicação 100% na operação 1); 1 robô manipulador de 3 eixos (dedicação 100% na operação 2); 1 operador (dedicação 100% nas operações 3, 4 e 5). Os valores de custo de cada operação foram obtidos por meio do setor de controladoria, o qual foram considerados os custos de matéria-prima, energia elétrica, tributos e salários e depreciação de investimentos. O custo operacional da célula de manufatura é de R\$ 49.000,00 reais por ano sendo distribuído respectivamente nas operações de 1 a 5: R\$ 12.000,00, R\$ 7.000,00, R\$ 10.000, R\$ 10.000 e R\$ 10.000,00 reais. Este custo operacional resulta em um custo unitário de R\$ 0,26 reais por peça.

Nesse Caso, as operações do processo de injeção do Caso 3 tiveram sua simbologia de fluxo de processo (Slack et. al, 1996) categorizadas: 2 atividades de “Operação” e 3 atividades de “Movimentação”.

O excesso de movimentação do operador resulta em problemas ergonômicos e conseqüentemente reduz a produtividade.

A célula de manufatura do Caso 3 apresenta um $T_k = 40$ seg/item (1,5 peç/min) e uma taxa de produção $T_{xp} = 3$ seg/item (180 pçs/min.). Desta forma a célula de manufatura do Caso 1 consegue atender o Takt Time do cliente, conforme pode ser observado na Figura 25.

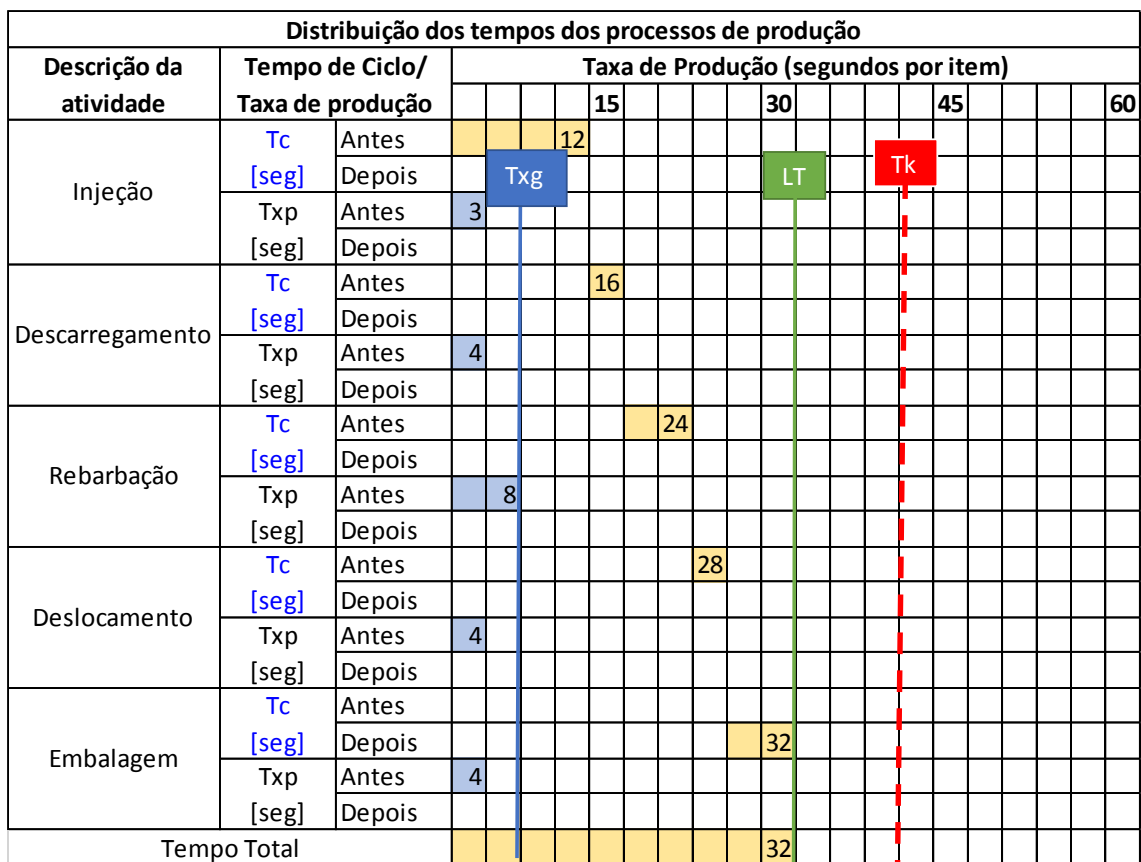


FIGURA 25: Distribuição padrão de tempos do processo do caso 3. FONTE: próprio autor

Como realizado na análise do estudo do Caso 1, após comparação dos tempos de processo inicia-se a atividade de otimização do LT.

Assim, como observado na Figura 25, somente a atividade 1 (operação de injeção) agrega valor ao produto. As demais operações não agregam valor para o cliente final.

Novamente a equipe de melhoria contínua atuou na análise das operações que não agregam valor e identificou oportunidades de melhoria/eliminação da operação de rebarbação. Nesse caso, foi detectado que não havia sido realizado a atividade de manutenção preventiva de moldes. A falta desta atividade gerou rebarbas na região lateral da peça demandando rebarbação após processo de injeção. Esta atividade é caracterizada como desperdício de retrabalho e foi eliminada. Dessa forma, com a eliminação da atividade de rebarbação o tempo de atravessamento alterou-se de 32 para 24 segundos por peça como pode ser observado na Figura 24.

Distribuição dos tempos dos processos de produção												
Descrição da atividade	Tempo de Ciclo/ Taxa de produção	Taxa de Produção (segundos por item)										
					15			30			45	60
Injeção	Tc [seg]	Antes			12							
		Depois	Txg				LT			Tk		
	Txp [seg]	Antes	3									
		Depois	3									
Descarregamento	Tc [seg]	Antes			16							
		Depois			16							
	Txp [seg]	Antes	4									
		Depois	4									
Rebarbação	Tc [seg]	Antes				24						
		Depois			16							
	Txp [seg]	Antes	8									
		Depois	0									
Deslocamento	Tc [seg]	Antes				28						
		Depois			4							
	Txp [seg]	Antes	4									
		Depois	4									
Embalagem	Tc [seg]	Antes					32					
		Depois										
	Txp [seg]	Antes	4									
		Depois	4				24					
Tempo Total						24						

FIGURA 26: DISTRIBUIÇÃO PADRÃO DE TEMPOS DO PROCESSO DO CASO 3 APÓS ATIVIDADE DE REDUÇÃO DE DESPERDÍCIOS. FONTE: PRÓPRIO AUTOR

Na Figura 26 é possível observar que, assim como no Caso 1, a premissa de eliminação de desperdícios foi atendida pois a atividade de inspeção que não agrega valor foi eliminada por meio de kaizen. O molde de injeção plástica foi corrigido de maneira que não fosse mais possível a geração de rebarbas e seus planos de manutenção preventiva estão sendo respeitados.

A próxima etapa então é a identificação das atividades que podem ser automatizadas por meio do conceito karakuri. Para isso, foram consideradas as atividades de movimentação

As atividades de movimentação (Atividade 4) e embalagem (Atividade 5) são caracterizadas como atividades com excesso de movimentos, indicando assim desperdícios. Dessa forma a matriz de elementos apresentou a possibilidade de aplicar o conceito de karakuri nas operações de movimentação e embalagem.

As atividades 4 e 5 apresentam as seguintes características:

- Atividade 4 – Operador movimenta peças da caixa localizada na injetora para caixas de abastecimento.
- Atividade 5 – Operador organiza caixas no pallet e desloca para estoque

Considerando a matriz de elementos físicos, a automação das atividades 4 e 5 baseadas no conceito karakuri devem conter os gatilhos pelo elemento físico de gravidade como mostrado no Quadro 11.

QUADRO 11: MATRIZ DE ELEMENTOS FÍSICOS PARA ESCOLHA DE CONCEITO KARAKURI.
FONTE: PRÓPRIO AUTOR

Elemento Físico \ Gatilho	Mecânica	Hidromecânica	Magnetismo	Elettricidade	Som	Gravidade
Peso						Caso 3
Número						
Posição						
Pedido						
Tempo						
Tempo de vida da peça						

O Quadro 11 ilustra a indicação da matriz para “gatilho” por peso e elemento físico de deslocamento pela gravidade.

Dessa forma, o conceito karakuri aplicado ao Caso 3 demandou um croqui para sua fabricação. Esse foi construído em uma estrutura de deslocamento conforme observado na Figura 27.

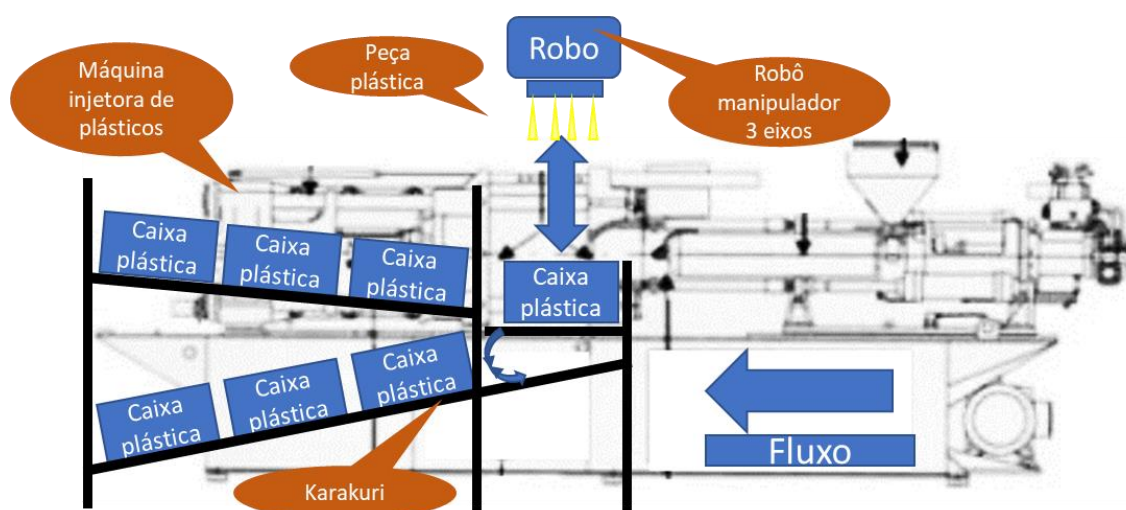


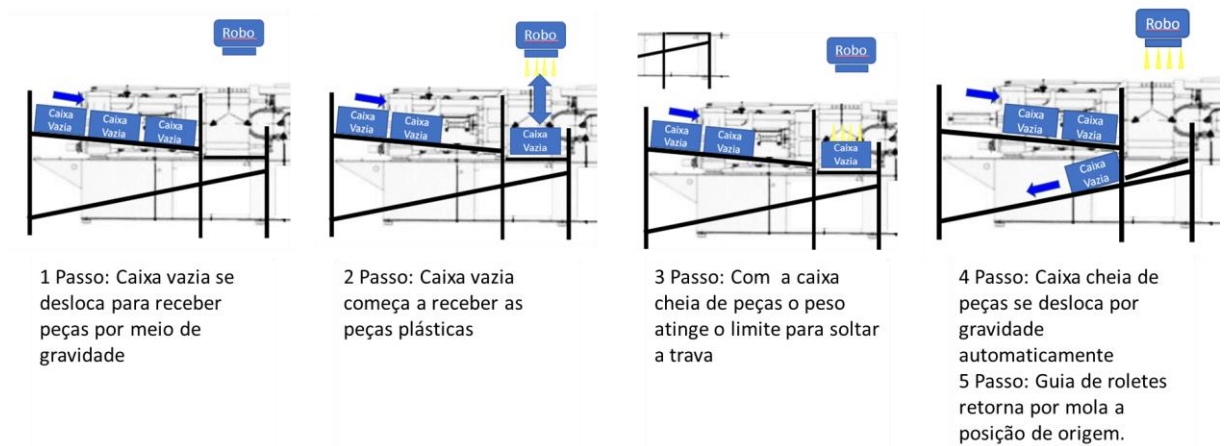
FIGURA 27: CONCEITO KARAKURI APLICADO À CÉLULA DE MANUFATURA DO CASO 3.
FONTE: PRÓPRIO AUTOR

A estrutura foi fabricada internamente e construída com 12 tubos de alumínio, quatro barras de roletes plásticos e 64 conexões. Para atender ao

deslocamento das caixas pelo elemento gravidade as guias de roletes à 15° para entrada e saída das caixas garantindo assim a inércia delas.

Portanto, após a aplicação do conceito karakuri no processo de injeção do Caso 3 ficou com a sequência a seguir: Máquina injeta peças; robô retira peças do molde e coloca nas caixas; caixa se desloca automaticamente para a extremidade do karakuri.

O ponto chave da implementação do conceito karakuri do Caso 3 é que o robô que faz o descarregamento das peças abastece as mesmas até que o peso da caixa faça com que seja liberado a guia de roletes e a caixa se desloque automaticamente por gravidade como pode ser observado na Figura 28.



*FIGURA 28: CONCEITO KARAKURI APLICADO À CÉLULA DE MANUFATURA DO CASO 3.
FONTE: PRÓPRIO AUTOR*

Como visto na Figura 28, o conceito karakuri foi implementado na célula de manufatura de injeção plástica. Entretanto, como no Caso 1, o processo que antes era feito operador foi substituído por uma estrutura de alumínio abastecida por caixas as quais são deslocadas por gravidade por meio de uma barra de roletes acionada pelo peso das caixas e peças.

Assim com a implementação do conceito karakuri foi eliminada a operação de embalagem cujo tempo era 4 segundos e a operação de deslocamento não houve alteração como foi ilustrado na Figura 29.

Distribuição dos tempos dos processos de produção															
Descrição da atividade	Tempo de Ciclo/ Taxa de produção	Taxa de Produção (segundos por item)													
						15				30			45		
Injeção	Tc [seg]	Antes				12									
		Depois	Txg			12	LT						Tk		
	Txp [seg]	Antes	3												
		Depois	3												
Descarregamento	Tc [seg]	Antes				16									
		Depois				16									
	Txp [seg]	Antes	4												
		Depois	4												
Rebarbação	Tc [seg]	Antes					24								
		Depois				16									
	Txp [seg]	Antes	8												
		Depois	0												
Deslocamento	Tc [seg]	Antes						28							
		Depois					20								
	Txp [seg]	Antes	4												
		Depois	4												
Embalagem	Tc [seg]	Antes													
		Depois							32						
	Txp [seg]	Antes	4												
		Depois	4				20	24							
Tempo Total						20									

FIGURA 29: DISTRIBUIÇÃO PADRÃO DE TEMPOS DO PROCESSO DO CASO 3 APÓS ATIVIDADE DE REDUÇÃO DE DESPERDÍCIOS. FONTE: PRÓPRIO AUTOR

Como observado na Caracterização de Processos na Figura 29, com a eliminação da atividade de “embalagem” o tempo total de processo reduziu de 24 para 20 segundos por item.

De forma geral, com a aplicação do conceito karakuri foi possível ganhar a mão-de-obra de inspeção e embalagem como visto na Tabela 8.

TABELA 8: OPERAÇÕES DO PROCESSO DE INJEÇÃO, RECURSOS, TEMPO DE CICLO E AÇÕES. FONTE: PRÓPRIO AUTOR.

Nº	Processo	Recurso	Custo Operacional (R\$/ano)	○	□	⇨	△	D	Tempo de ciclo (em segundos)	Ação
1	Injeção	Máquina automática de desbobinamento	R\$ 12.000,00	●	□	⇨	△	D	12	Injeta plástico derretido no molde e refrigera
2	Descarregamento	Robo manipulador de 3 eixos	R\$ 7.000,00	○	□	⇨	△	D	4	Pega peça do molde e coloca na caixa para rebarbar
4	Deslocamento	Operação manual	R\$ 10.000,00	○	□	⇨	△	D	4	Pega a caixa do chão e coloca no pallet
5	Embalagem	Karakuri		○	□	⇨	△	D	0	Empilha e organiza as caixas no pallet

Como visto, a aplicação do conceito karakuri que eliminou as atividades 3 e 5 (Tabelas 7 e 8), os custos operacionais, os quais eram de R\$ 49.000,00 reais por ano, foram reduzidos para ordem de R\$ 29.000,00 por ano (- R\$ 20.000,00).

O investimento na construção e implementação do conceito karakuri foi de R\$ 2.500,00 reais tornando viável o investimento cujo payback se deu em 3 mês.

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA PRÓXIMOS TRABALHOS

Esta dissertação de mestrado assumiu como objetivos analisar o aumento da produtividade em processos de manufatura por meio da aplicação de automação baseada no conceito de karakuri.

Para tal objetivo, esta análise apoiou-se na pesquisa de literatura sobre os temas Automação da manufatura, Low Cost Automation, Lean |Automation, Células de Manufatura (Serus) e Karakuri.

Nesta pesquisa foram apresentadas diversas perspectivas de diversos autores de diferentes países. Todos os autores pesquisados analisaram as aplicações de seus trabalhos dentro de cada ambiente que pertence reportando no final os impactos de tais aplicações.

O método de trabalho propôs uma sistemática para escolha da célula para aplicação do conceito karakuri, o desenvolvimento das questões descritas em um protocolo de pesquisa e o auxílio na escolha ideal da solução.

Conclui-se que com a aplicação do conceito karakuri, os três casos apresentados atingiram o objetivo inicial da dissertação em relação ao aumento da produtividade.

No Caso 1, com a aplicação do conceito karakuri observou-se o ganho anual R\$ 70.000,00 com a eliminação movimentos desnecessários e otimização dos recursos já disponíveis.

No Caso 2, embora não tenha sido possível otimizar os recursos disponíveis, os movimentos desnecessários foram eliminados e o trabalho do operador que abastecia o posto foi otimizado. Assim o ganho anual foi na ordem de R\$ 30.000,00.

Já no Caso 3, o ganho por ano foi de R\$ 20.000,00, no qual foi possível a eliminação da necessidade do operador para rebarbar e alocar as peças em caixas disponibilizando para o próximo posto.

Entretanto, o presente trabalho apresenta resultados cuja aplicação depende exclusivamente do ser humano. O treinamento e a capacidade das pessoas em enxergar onde estão os desperdícios de movimento e a iniciativa para que a

situação seja melhorada são um dos postos-chaves da aplicação. Assim, o próprio ser humano torna-se uma limitação para introdução da automação com base no conceito *karakuri*.

Outra limitação é cultura de tratar os problemas como oportunidade de melhoria e desenvolvimento pessoal dos indivíduos. Portanto, identificar o problema e tomar ações rapidamente são vantagens competitivas no cenário atual.

Além disso, existe uma limitação de conceito que impede que o *karakuri* seja um item padrão. Todo *karakuri* é customizado e deve ser ajustado para sua operação específica até a máxima otimização do processo todo.

Apesar das limitações identificadas, considera-se que o estudo realizado permitiu conhecer melhor algumas aplicações do conceito *karakuri* e identificar possíveis aplicações atuais e futuras.

Futuras pesquisas poderiam abranger mais as automações de baixo custo com base no conceito *karakuri*. Atualmente poucas literaturas foram encontradas mencionando aplicações principalmente em empresas ocidentais onde a cultura de automações com alto custo é mais comum.

O que se percebe é que o impacto do cenário competitivo vivido nas empresas atualmente as leva a buscar reduzir seus custos e geralmente como observado nesse estudo, poucas buscam opções de baixo custo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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, n. 1, p. 223-236, 2007.

ALBERTOS, P. "Trends in Low Cost Automation" – Dept of Systems Engineering and Control – Universidad Politécnica Valencia – IFAC 1998

ASHOK, B, "Implementation of Karakuri Kaizen in Material handling Unit" www.researchgate.net/publication/280314192_Implementation_of_Karakuri_Kaizen_in_Material_Handling_Unit - VIT University Vellore 2015

ALEFARI, M; SALONITIS, K; XU, Y; - The role of leadership in implementing lean manufacturing The 50th CIRP Conference on Manufacturing Systems - Manufacturing, Cranfield University, Cranfield, MK43 0AL, UK 2017

CAMELO, G.R. – "LOGÍSTICA ENXUTA: A ABORDAGEM LEAN NA CADEIA DE SUPRIMENTOS" - São Carlos, Sp, Brasil, 2010.

CAUCHICK, P.M. e SOUSA R. – Livro "Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações." 2ª Ed. 2011.

D'ANTONIO, G. – A novel methodology to integrate Manufacturing Execution Systems with the Lean Manufacturing approach – 27th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing, FAIM 2017 – 27-30 June 2017, Modena Italy.

ERBE, H. "Low Cost Intelligent Automation In Manufacturing" Technische Universität Berlin Franklinstrasse 28/29 D-10587 2016 Berlin, Germany

FROHM, J. "Levels of Automation in Production Systems" - Department of Product and Production Development Production Systems CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY Göteborg, Sweden, 2008

GAJMAL, S., "Low Cost Automation(LCA): A Case Study" - Department of Mechanical Engineering, Gharda Institute of Technology, Lavel Email: sameergajmal@git-india.edu.in 2014

GRANLUND, M. From bean-counters to change agents: the Finnish management accounting culture in transition – 2008

HASHIMOTO, J.A. A IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA KANBAN DENTRO DE UMA INDÚSTRIA DE AUTOPEÇAS - 2015

HIRAYAMA S.; "Study Tour 26th October " Tokyo 108-0075 Japan TEL:+81-3-5783-3571 FAX:+81-3-5783-3572 Mobile Tel.: +81-80-5688-7950 www.genbakaizen.com Noboru Takeuchi noboru-takeuchi2@hirayamastaff.co.jp; Japan,2014

LIKER, J. K. O Modelo Toyota: 14 princípios de gestão da maior fabricante do mundo. Porto Alegre: Bookman, 2005.

LIU, C. – Reconfiguration of assembly systems: From Conveyor assembly to serus Journal of Manufacturing Systems – School of Economics and Management , Xi'an University of Technology, Xi'an City, Shaanxi Province 710048 PR China 2006

LIU, C. – Training and assignment of multi-skilled workers for implementing seru production systems. – Adv Manuf Technol (2013) 69:937-959 2013

LIKER, K. J. The toyota way. McGraw-Hill, 2004.

LIKER, K. J. ; MEIER, D. Toyota way fieldbook. McGraw-Hill, 2006.

MAŠÍN R. - "DYNAMIC CHARACTERISTICS OF THE KARAKURI TRANSPORT TROLLEY" Technical University in Liberec, Czech Republic 2016

MAXIMIANO, A.C.A. “Teoria Geral da Administração: da revolução urbana à revolução digital”. 5. ed. – São Paulo: Atlas, 2005.

MOYANO-FUENTES, J.; SACRISTÁN-DÍAZ, M. Learning on lean: a review of thinking and research. International Journal of Operations & Production Management, v. 32, n. 5, p. 551-582, 2012.

MIYAKE, D.I. “The Shift from Belt Conveyor Line to Work-cell Based Assembly Systems to Cope with Increasing Demand Variation and Fluctuation in The Japanese Electronics Industries” , CIRJE Discussion Papers, <http://www.e.utokyo.ac.jp/cirje/research/03research02dp.html>; 2006.

MURATA K., WAKABAYASHI Keizo, WATANABE Akihiro, KATAYAMA Hiroshi “Analysis on Integrals of Lean Module Technologies The cases of Visual Management, Poka-Yoke and Karakuri Technologies”, Ohkubo, Shinjuku Ward, Tokyo, 169-0072, Japan. 2015

PATIL S., PATIL A., PRASHANT G. & GANESH R. - “Low Cost Automation for Manufacturing of Conveyor Chain Bushes” I1, College of Engineering & Technology, Ashta, India 2 Atul Patil ,2013.

PINHEIRO L., Toledo J Carlos - Lean Thinking e Lean Manufacturing - Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos) Dezembro, 2014

PUCHKOVA A., SRINIVASAN Rengarajan, MCFARLANE Duncan - “Towards Lean and Resilient Production”. Institute for Manufacturing, Cambridge, CB3 0FS United Kingdom 2015 United Kingdom

SALONITIS K, TSINOPOULOS C. - Drivers and Barriers of Lean Implementation in the Greek Manufacturing Sector. Procedia CIRP 2016; 57:189–194 2016

SEIFERMANN, S., Bollhoff Jörg, Metternich Joachim, Bellaghnach Amin. – Evaluation of Work Measurement Concepts for a Cellular Manufacturing Reference Line to enable Low Cost Automation for Lean Machining. Proceedings of the 47th CIRP Conference on Manufacturing Systems -Germany.2014

SILVA, Katia Nara, SANTOS, Vilma da Silva , OLIVEIRA Edson, APLICAÇÃO DO SISTEMA KANBAN NA LINHA DE PRODUÇÃO DE ESCAPAMENTOS NA INDÚSTRIA DE AUTO PEÇAS - 2016

SHAH, R.; WARD, P. T. Lean manufacturing context, practice bundles, and performance. Journal of Operations Management, v. 335, p. 1-21, 2002.

SHINGO, S. - A Revolution in Manufacturing: The Smed System, Productivity Press, 1985

STRECKE, K., Yin, Y., Kalu, I., Murase, Y. “Seru: The Organizational Extension of JIT for a Super-Talent Factory”, International Journal Strategic Decision Sciences, 3, 1., 2012

TAKAMI T. , “Production engineering strategies and metalworking at Toyota Motor Corporation 11th International Conference on Technology of Plasticity, ICTP 2014, 19-24 October 2014, Nagoya Congress Center, Nagoya, Japan . Unit Production Engineering Field, Toyota Motor Corporation, 1 Toyota-cho, Toyota, Aichi 471-8571, Japan

VILLA A., Taurino Teresa;” From JIT to Seru, for a production as lean as possible” The Manufacturing Engineering Society International Conference, MESIC 2013

YAMAZAKI Y., TAKATA Shozo, ONARI Hisashi, KOJIMA Fumio, KATO Shigeya, “Lean Automation System Responding to the Changing Market” The 23th CIRP Conference on Life Cycle Engineering 2016.

YAMAZAKI Y., “Development of 1/N machines for optimization of life cycle cost responding to globally varying production environment” ; Procedia CIRP 61 (2017) 22 – 27 ; The 24th CIRP Conference on Life Cycle Engineering 2017.

YIN, R. K. Estudo de Caso – Planejamento e Método. 2. ed. São Paulo: Bookman, 2001.

YAGYUU S, “Synchronized Seru Seisan mode: Beginning from one”, Tokyo – Japan Nikkan Kogyo Shinbum , 2003.

ZAFARZADEH, M., JACKSON, M., “Automation from Lean Perspective- Potencial and challenges” – Proceedings of the 11th International Conference on Manufacturing Research – Cranfield, UK 2013

ZHANG X. , CHENGUANG Liu , WENJUAN Li , EVANS Steve, YONG Yin – “Effects of key enabling technologies for seru production on sustainable performance” - School of Management, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China ;2014.