



**Joana Oliveira Butzke**

**PROPOSTA PARA PADRONIZAÇÃO DE MÉTODOS E PROCESSOS  
EM UMA LINHA DE PRODUÇÃO UTILIZANDO A METODOLOGIA  
LEAN MANUFACTURING**

Horizontina - RS

**2018**

**Joana Oliveira Butzke**

**PROPOSTA PARA PADRONIZAÇÃO DE MÉTODOS E PROCESSOS  
EM UMA LINHA DE PRODUÇÃO UTILIZANDO A METODOLOGIA  
LEAN MANUFACTURING**

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia de Produção na Faculdade Horizontina, sob a orientação do Prof. Sirnei César Kach, Me.

**Horizontina - RS**

**2018**

**FAHOR - FACULDADE HORIZONTALINA**  
**CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o trabalho final de curso**

**“Proposta para padronização de métodos e processos em uma linha de produção utilizando a metodologia lean manufacturing”**

**Elaborado por:**

**Joana Oliveira Butzke**

Como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em  
Engenharia de Produção

Aprovado em: 06/12/2018

Pela Comissão Examinadora



---

Mestre. Sirnei Cesar Kach

Presidente da Comissão Examinadora - Orientador



---

Mestra. Francine Centenaro Gomes

FAHOR – Faculdade Horizontina



---

Mestre. Eloir Fernandes

FAHOR – Faculdade Horizontina

**Horizontina - RS**  
**2018**

## Dedicatória

Dedico este trabalho à minha família. Em especial, ao meu pai, minha mãe e meu irmão, pelo carinho, incentivo e apoio ao longo desta caminhada.

## AGRADECIMENTO

Em especial aos meus pais, pelos ensinamentos, por estarem sempre presentes e pelo apoio incondicional. Ao meu irmão, pela compreensão e por ter garantido que esta caminhada fosse sempre muito alegre. Agradeço aos meus avós pelo exemplo e amor. Ao meu namorado e companheiro de todas as horas, pelo incentivo nas horas difíceis.

Ao professor e orientador Me. Sirnei César Kach, pela paciência e dedicação ao longo do curso e por não ter medido esforços para a realização deste trabalho.

Aos colegas que de alguma forma, contribuíram para a concretização deste estudo.

*“Nothing in life is to be feared, it is only to be understood. Now is the time to understand more, so that we may fear less”.*

(Marie Curie)

## RESUMO

O atual cenário competitivo tem exigido que as empresas busquem estabelecer requisitos-chave capazes de conquistar os consumidores e vencer a concorrência. Para isto, o sistema produtivo deve ser capaz de proporcionar níveis adequados de qualidade, pontualidade, flexibilidade e custos. Tratando-se de novos projetos, a inexistência de procedimentos operacionais padronizados pode ocasionar altos índices de perdas provenientes de retrabalhos, baixa produtividade e a incapacidade de estabelecer controles eficazes. Neste contexto, este trabalho propõe definir o fluxo de interação entre os postos, métodos e padrões a fim de distribuir homogeneamente as sequências de operações que compõem a linha de montagem de um protótipo de equipamento robotizado. Para tanto, foi utilizada a metodologia de estudo de caso e os dados foram processados de maneira descritiva e qualitativa. Através da execução de um experimento de simulação dos procedimentos de montagem da linha principal, foram obtidas informações que possibilitaram a aplicação de ferramentas propostas pela metodologia do *lean manufacturing*, tais como o balanceamento da carga de trabalho do operador através do *yamazumi board*, a determinação de tempos e movimentos e o estabelecimento de documentos essenciais para se estabelecer o trabalho padronizado. As propostas resultam na sistematização de princípios que asseguram a conformidade do produto ao projeto e auxiliam na redução de desperdícios por retrabalhos e sucateamentos.

**Palavras-chave:** Manufatura enxuta. Trabalho padronizado. Robô remotamente controlado.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Casa do Sistema Toyota de Produção.....	25
Figura 2: Produção em fluxo contínuo versus produção em ilhas isoladas.....	27
Figura 3: Luzes <i>andon</i> .....	32
Figura 4: Ciclo PDCA .....	34
Figura 5: Recurso gargalo .....	41
Figura 6: Etapas do mapeamento do fluxo de valor .....	43
Figura 7: Ícones empregados no VSM .....	44
Figura 8: Aplicação do diagrama espaguete .....	46
Figura 9: Quadro de capacidade do processo .....	48
Figura 10: Diagrama do trabalho padronizado .....	49
Figura 11: Gráfico de balanceamento do operador .....	55
Figura 12: Estrutura de desenvolvimento do estudo .....	63
Figura 13: Projeto 3D do equipamento robotizado .....	66
Figura 14: Principais módulos do robô .....	67
Figura 15: Divisão de itens conforme grupos de montagem .....	68
Figura 16: Ferramentas necessárias às operações de montagem.....	70
Figura 17: Movimentos precisos para a montagem dos motores.....	71
Figura 18: Execução do experimento.....	73
Figura 19: Interface cronômetro <i>Time and Date</i> .....	74
Figura 20: Gráfico dos tempos normais de cada operação.....	75
Figura 21: Gráfico de distribuição dos tempos no estado inicial.....	79
Figura 22: Novo gráfico de distribuição dos tempos.....	81
Figura 23: Folha de instrução de trabalho para o posto 01 .....	83
Figura 24: Quadro de capacidade produtiva .....	85
Figura 25: Diagrama do trabalho padronizado .....	87

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Materiais e equipamentos utilizados.....	64
--	----

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Matriz de dependência entre as operações.....	69
Tabela 2: Determinação de ciclos a serem cronometrados .....	72
Tabela 3: Cálculo do tempo padrão .....	77
Tabela 4: Nova distribuição dos tempos padrões de montagem.....	80

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Determinação de ciclos a serem cronometrados .....	51
Equação 2: Cálculo do tempo padrão .....	52
Equação 3: Cálculo do tempo médio.....	53
Equação 4: Cálculo do tempo <i>takt</i> .....	53
Equação 5: Dimensionamento dos recursos em uma linha produtiva.....	55
Equação 6: Cálculo da capacidade instalada.....	56
Equação 7: Cálculo da capacidade disponível .....	57
Equação 8: Cálculo da capacidade efetiva .....	57
Equação 9: Cálculo da capacidade realizada.....	57

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
1.1 TEMA .....	17
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	17
1.3 PROBLEMA DE PESQUISA .....	17
1.4 HIPÓTESES.....	18
1.5 JUSTIFICATIVA .....	18
1.6 OBJETIVOS .....	19
1.6.1 Objetivo Geral .....	19
1.6.2 Objetivos Específicos .....	19
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>20</b>
2.1 ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO E OPERAÇÕES.....	20
2.1.2 Sistema de produção artesanal.....	20
2.1.3 Sistema de produção em massa .....	21
2.1.4 Sistema de produção enxuta.....	23
2.2 PILARES DO SISTEMA DE PRODUÇÃO ENXUTA .....	24
2.3 PRINCIPAIS FERRAMENTAS DO SISTEMA DE PRODUÇÃO ENXUTA.....	26
2.3.1 <i>Just in time</i> .....	26
2.3.1.1 Fluxo contínuo.....	27
2.3.1.2 Sistema puxado.....	28
2.3.1.3 Troca rápida de ferramentas .....	28
2.3.1.4 Logística integrada .....	29
2.3.2 <i>Jidoka</i> .....	29
2.3.2.1 Sistema <i>poka-yoke</i> .....	30
2.3.2.2 <i>Andon</i> .....	31
2.3.3 MELHORIA CONTÍNUA.....	32

2.3.3.1 <i>Kaizen</i> .....	32
2.3.3.2 Ciclo PDCA .....	33
2.3.3.3 Programa 5S .....	35
2.3.3.4 Os 5 porquês.....	36
2.3.4 <i>Kanban</i> .....	37
2.3.4.1 ESTOQUES .....	38
2.3.5 AS OITO PERDAS DO SISTEMA PRODUTIVO.....	39
2.1.6.5 TEORIA DAS RESTRIÇÕES .....	41
2.3.8 Mapeamento do fluxo de valor .....	42
2.3.8.1 Valor agregado.....	45
2.3.8.2 Diagrama espaguete .....	46
2.3.9 TRABALHO PADRONIZADO .....	46
2.3.9.1 Quadro de capacidade do processo.....	48
2.3.9.2 Tabela de combinação do trabalho padronizado.....	48
2.3.9.3 Diagrama de trabalho padronizado .....	49
2.4 ESTUDO DOS TEMPOS E MOVIMENTOS.....	50
2.4.1 Estudo dos tempos.....	50
2.4.1.1 Cronoanálise .....	50
2.4.1.2 Tempo de ciclo .....	52
2.4.1.3 Tempo padrão .....	52
2.4.1.4 Tempo normal .....	53
2.4.1.5 Tempo <i>takt</i> .....	53
2.4.1.6 <i>Lead time</i> .....	54
2.4.2 Estudo dos movimentos .....	54
2.5 BALANCEAMENTO DAS OPERAÇÕES .....	54
2.5.1 Balanceamento do operador - <i>yamazumi board</i> .....	55
2.6 CAPACIDADE PRODUTIVA .....	56

2.6.1 Capacidade instalada .....	56
2.6.2 Capacidade disponível .....	57
2.6.2 Capacidade efetiva .....	57
2.6.2 Capacidade realizada .....	57
2.7 ARRANJO FÍSICO .....	58
2.8 PROJETO DO PRODUTO .....	58
2.9 EQUIPAMENTOS ROBOTIZADOS .....	59
2.9.1 Modularização .....	61
<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>62</b>
3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS .....	63
3.2 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS .....	64
<b>4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>65</b>
4.1 CARACTERIZAÇÃO DO EQUIPAMENTO ROBOTIZADO .....	65
4.1.1 Projeto .....	65
4.1.2 Produto .....	65
4.2 OBTENÇÃO DE DADOS DO PROCESSO .....	68
4.2.1 Preparação para o experimento de simulação .....	68
4.2.2 Teste piloto .....	71
4.2.3 Execução do experimento .....	73
4.2.4 Análise dos dados .....	74
4.1 PROPOSTA DE MELHORIA .....	76
4.3.1 DEFINIÇÃO DOS TEMPOS .....	76
4.3.1.1 Tempo padrão .....	76
4.3.1.2 Tempo <i>takt</i> .....	77
4.3.2 GRÁFICO DE BALANCEAMENTO DO OPERADOR .....	78
4.3.3 PADRONIZAÇÃO DOS MÉTODOS .....	81
4.3.4 Folha de instrução de trabalho .....	82

4.3.5 Quadro de capacidade do processo.....	84
4.3.6 Tabela de combinação do trabalho padronizado.....	86
4.3.7 Diagrama do trabalho padronizado .....	87
<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>89</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>91</b>
<b>APÊNDICE A – ELEMENTOS DA ESTRUTURA DO ROBÔ .....</b>	<b>98</b>
<b>APÊNDICE B – SEQUÊNCIAS DE MOVIMENTOS .....</b>	<b>99</b>
<b>APÊNDICE C – REGISTRO DOS TEMPOS DE PROCESSAMENTO .....</b>	<b>102</b>
<b>APÊNDICE D – CHECK LIST TESTE FUNCIONAL .....</b>	<b>103</b>
<b>APÊNDICE E – FOLHA DE INSTRUÇÃO DE TRABALHO .....</b>	<b>104</b>
<b>ANEXO A – EXEMPLO DE APLICAÇÃO DO VSM .....</b>	<b>109</b>
<b>ANEXO B – TABELA DE COMBINAÇÃO DO TRABALHO PADRONIZADO.....</b>	<b>110</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Ao longo das últimas décadas a competitividade no setor industrial tem exigido intensas transformações econômicas, organizacionais e tecnológicas. Tais mudanças, aliadas a um público cada vez mais exigente e a globalização dos mercados, despertaram a necessidade de estabelecer requisitos chave capazes de conquistar o consumidor e superar a concorrência. Para isso, faz-se necessário o desenvolvimento de estratégias que tornem o sistema produtivo apto a proporcionar níveis adequados de qualidade, pontualidade, flexibilidade e custos.

Tratando-se de novos projetos, a gestão da produção destina-se a fornecer condições para que o sistema seja capaz de operar de acordo com uma taxa que atenda a demanda e os requisitos especificados pelos clientes, através da organização e normatização dos processos de trabalho. O emprego de métodos e padrões que assegurem o controle da rotina operacional possibilita atingir a consistência e a uniformidade de produtos e processos, provendo diretrizes para a otimização dos níveis de desempenho organizacionais.

Em uma linha de montagem, o trabalho padronizado pode ser entendido como um conjunto de medidas que definem as condições ideais de execução das tarefas produtivas e operacionais, a fim de estabelecer uma cultura orientada à melhoria contínua e garantir a previsibilidade do processo. Difundido através da manufatura enxuta, a implementação de procedimentos padronizados consiste em uma premissa básica para evitar que os diferentes modos de agir dos operadores, ao desempenharem uma mesma tarefa, resultem em divergências e inconsistências.

Contrário aos métodos tradicionais, considerados burocráticos, complexos e estáticos, o trabalho padronizado na mentalidade enxuta ocupa-se em sustentar o processo de melhoria, atuando como uma base sobre a qual haverão evoluções constantes. O padrão é traduzido em uma imagem nítida de uma condição desejada, tornando possível que anomalias e desvios sejam distinguidos dos processos normais, com o objetivo de assegurar que ações corretivas sejam definidas e implementadas.

Neste contexto, busca-se através deste estudo a padronização dos processos produtivos na linha de montagem principal de um equipamento robotizado, com base

na abordagem e ferramentas do *lean manufacturing*. O projeto responsável por viabilizar a realização deste trabalho é resultado de uma parceria entre a Faculdade Horizontina – FAHOR e uma empresa especializada em sistemas gerenciais, localizada na região Noroeste do Rio Grande do Sul.

### 1.1 TEMA

Este trabalho propõe o estabelecimento de uma metodologia para a padronização dos processos produtivos de um equipamento robotizado a partir da aplicação de ferramentas e conceitos da manufatura enxuta.

### 1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

A inexistência de métodos e padrões que normatizam a execução dos processos operacionais no ambiente manufatureiro conduz a falhas que resultam em variações nos produtos, e conseqüentemente, em níveis inferiores de qualidade.

Nesta linha de pensamento, este trabalho delimita-se à coleta de dados, ao levantamento de informações e a definição do fluxo de interação entre os postos que compõem a linha principal de montagem de um robô remotamente controlado, desenvolvido pela Faculdade Horizontina – FAHOR em conjunto com uma empresa especializada em *softwares* de sistemas gerenciais, a fim de padronizar os procedimentos operacionais.

### 1.3 PROBLEMA DE PESQUISA

A qualidade dos produtos e processos é apontada como um fator trivial para assegurar a permanência e o desenvolvimento sustentável de iniciativas no contexto atual. Assim, a gestão das atividades operacionais deve centrar seus esforços em garantir que as expectativas dos clientes sejam plenamente atendidas, estando em conformidade com os padrões esperados.

O registro das operações é a chave para firmar a estabilidade dos processos, tornando-os consistentes, robustos e transparentes. Possibilita, ainda, sistematizar o conhecimento de anos de experiência, certificando-se de que os colaboradores dominem a sequência de tarefas necessárias para que o produto final seja entregue de acordo com o projeto e dentro dos prazos estabelecidos.

Em vista disso, sabe-se que atualmente o processo de montagem do componente robotizado produzido pela instituição não segue um procedimento operacional padronizado, o que resulta em altos índices de perdas provenientes de retrabalhos, baixa produtividade e incapacidade de estabelecer controles eficazes. Define-se, portanto, o problema deste estudo através do seguinte questionamento: “Como assegurar um alto nível de conformidade dos processos de montagem da linha principal de um robô remotamente controlado?”

#### 1.4 HIPÓTESES

A implementação de procedimentos que promovam a estabilidade do sistema consiste em um dos princípios fundamentais para a sustentação de uma abordagem enxuta, uma vez que os processos passam a ser realizados com base na sistematização de ferramentas que asseguram a consistência e a uniformidade operacional.

Estima-se que a partir da aplicação de uma metodologia para padronizar as operações de montagem do equipamento robotizado, será possível estabelecer a sistematização de documentos que determinem a sequência ideal de execução dos processos, garantindo que os produtos finais estejam em conformidade com os padrões estabelecidos.

#### 1.5 JUSTIFICATIVA

A ausência de procedimentos operacionais padronizados aplicados ao processo de montagem de um equipamento robotizado origina instabilidades, desbalanceamento de recursos e falhas de execução, impossibilitando o estabelecimento de uma produção uniforme. Assim, ao final da linha, um lote do mesmo produto pode apresentar características divergentes.

Nestas circunstâncias, os processos considerados normais são desconhecidos, uma vez que não existe a indicação de um padrão a ser adotado. Os índices de tempos e movimentos sofrem variações expressivas a cada ciclo, dificultando a formalização de indicadores de desempenho confiáveis. Além disso, a dependência sequencial das tarefas é constantemente desconsiderada, o que acaba por comprometer a qualidade do produto final. Torna-se evidente, portanto, a

necessidade de implementação de um procedimento para normatizar a rotina operacional.

O estudo e o aprimoramento dos processos produtivos através do emprego de uma metodologia para padronizar o trabalho permite obter um melhor entendimento de como o sistema funciona e pode ser melhorado. Ainda, fornece condições para estabelecer o controle do fluxo operacional, tornando-o previsível, eficiente e nivelado.

Entre outros fatores, a aplicação deste trabalho beneficia o projeto ao proporcionar ganhos estimáveis em qualidade, racionalização de materiais e redução de custos. Igualmente, a descrição precisa dos procedimentos de montagem certifica a reprodutibilidade do processo, garantido que o resultado final seja sempre o mesmo.

## 1.6 OBJETIVOS

### 1.6.1 Objetivo Geral

Através deste estudo, objetiva-se de forma geral, padronizar os processos do fluxo de montagem de um equipamento robotizado a fim de assegurar uma operação livre de desperdícios.

### 1.6.2 Objetivos Específicos

Para cumprir com o objetivo geral, definem-se os objetivos específicos:

- a) Realizar um estudo para processo com base no projeto do produto;
- b) Definir o fluxo ideal de montagem;
- c) Definir ferramentas e metodologias;
- d) Propor um projeto de uma linha balanceada para montagem do robô.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO E OPERAÇÕES

De acordo com Machline (1994), as origens da administração da produção como uma ciência organizada datam do final do século XIX, impulsionada pela Escola Científica de Frederick Taylor.

Originalmente considerada uma prática predominantemente industrial, Corrêa (2005) explica que a gestão da produção passou a integrar operações ligadas a prestação de serviços e a redes de suprimentos. Transitou entre períodos de evolução acelerada e quase estagnação. Diferentes técnicas e abordagens foram desenvolvidas e aperfeiçoadas, vertentes surgiram e uniram-se numa fascinante dinâmica, até tomar a forma conhecida hoje.

Neste contexto, Pasqualini, Lopes e Siedenberg (2010) definem a gestão da produção e operações como as atividades voltadas ao gerenciamento dos recursos escassos e dos processos que transformam entradas em bens e serviços. Todas as organizações, busquem elas lucro ou não, dispõem de uma função produção capaz de fornecer um pacote de valor que inclui um composto de produtos e serviços.

Moreira (2002) descreve a administração da produção e operações como o campo de conhecimento voltado ao planejamento, organização e ao controle da produção industrial e da prestação de serviços.

De acordo com Slack et al. (2007), a administração da produção consiste em um assunto prático que trata de problemas reais. Organizar e gerenciar eficientemente as atividades envolvidas nestes processos é o objetivo principal da função produção.

#### 2.1.2 Sistema de produção artesanal

De acordo com Pasqualini, Lopes e Siedenberg (2010), o sistema de produção artesanal pode ser considerado o primeiro método de produção organizada, uma vez que os artesãos determinavam prazos de entrega, atendiam a especificações predeterminadas e fixavam preços em seus pedidos.

Womack, Jones e Roos (1992) afirmam que este modelo de produção fundamenta-se a partir do emprego de trabalhadores altamente qualificados, na

aplicação de ferramentas simples, porém flexíveis e pela produção de um item por vez. Ainda de acordo com os autores, são características deste sistema produtivo:

- a) As oficinas eram coordenadas por um proprietário que mantinha contato direto com todos os envolvidos no processo: fornecedores, empregados e clientes finais;
- b) Mão de obra composta por operários habilidosos que montavam os veículos manualmente. Esses trabalhadores dominavam princípios de mecânica e conheciam todos os materiais utilizados ao longo do processo;
- c) Aplicação de ferramentas e mecanismos domésticos para procedimentos de corte e perfuração de materiais;
- d) Baixos volumes de produção devido a restrições de recursos;
- e) Variações ocasionadas pelo processo impediam a fabricação de duas unidades semelhantes de cada produto;
- f) Flexibilidade para projetar e produzir de acordo com as necessidades dos clientes.

Segundo Correia (2003), o advento da Primeira Revolução Industrial resultou em uma crescente mecanização das tarefas, que anteriormente eram realizadas manualmente. Os avanços tecnológicos permitiram a divisão do trabalho e o aumento da capacidade de produção, tornando interessante o estabelecimento de unidades fabris. Esteves (2014) complementa que a produção artesanal se tornou inviável devido aos altos custos e impossibilidade de estabelecer controles de qualidade.

Fonseca, Gutierrez e Silva (2008) descrevem que a produção artesanal foi largamente empregada até a Primeira Guerra Mundial (1914-1918), sendo posteriormente suplantada pelo sistema de produção em massa.

### 2.1.3 Sistema de produção em massa

O acelerado crescimento da população, os avanços nos transportes, na agricultura e na indústria, para Womack, Jones e Roos apud Fonseca, Gutierrez e Silva (2008), indicaram o surgimento de um novo mundo. Neste contexto, Henry Ford apresentou um sistema produtivo capaz de atender a crescente massa consumidora, baseando-se na economia de larga escala, na padronização de

componentes e na fabricação de grandes lotes de produtos idênticos. Suas técnicas possibilitaram a redução de custos, aumento da qualidade dos produtos, e ainda os tornaram acessíveis a uma faixa muito maior da população.

De acordo com Womack, Jones e Roos (1992), este modelo de produção caracteriza-se a partir do emprego de profissionais especializados para projetar produtos que posteriormente, serão manufaturados por uma mão de obra semi ou não qualificada. O alto custo do maquinário e sua baixa versatilidade implicam na incorporação de diversas folgas no sistema – suprimentos adicionais, mão de obra e espaço extra – a fim de garantir a continuidade da produção.

Rabelo Filho (2011) afirma que o sistema de produção em massa foi responsável por promover o desenvolvimento de diversas inovações técnicas e organizacionais, como as linhas de montagem acopladas a esteiras rolantes, responsáveis por ditar o ritmo na linha de montagem e a intercambialidade de peças. Cada etapa do processamento era pensada a fim de reduzir custos e tempo. Ainda, de acordo com Wood Júnior (1992) são características deste modelo produtivo:

- a) Mão de obra altamente especializada em apenas uma etapa do processo produtivo, devido a repetição de movimentos em um curto espaço de tempo. Com isso, os níveis de produtividade eram elevados e o esforço humano reduzido;
- b) Integração vertical total, a partir da produção intermediária de insumos que, posteriormente, eram agregados ao produto final. Este sistema tornou possível a obtenção de peças com tolerâncias mais estreitas e prazos de entrega mais rígidos do que os fornecedores poderiam oferecer;
- c) Produção empurrada, determinada pelo comportamento do mercado;
- d) Intercambialidade entre os componentes e facilidade de montagem, obtidas através da padronização de medidas ao longo do processo de fabricação.

Contudo, por volta de 1955, os métodos da produção em massa encaminharam-se ao declínio. As mudanças nos hábitos de consumo impondo níveis elevados de diferenciação eram incapazes de ser sustentadas pelo sistema, devido a economia de escala. As relações trabalhistas, o trabalho mecanizado e a forma de remuneração já não agradavam mais. Uma nova realidade econômica,

política e social emergia e reivindicava por um novo modelo de produção. (WOMACK, JONES E ROOS, 1992).

#### 2.1.4 Sistema de produção enxuta

De acordo com Ohno (1997), o Sistema Toyota de Produção surgiu a partir da necessidade. O cenário pós-guerra no Japão seria incapaz de viabilizar os altos investimentos impostos pelos métodos da produção em massa. Além disso, o mercado passou a exigir a produção de pequenas quantidades de muitas variedades, sob baixas demandas.

Assim, em 1950 Eiji Toyoda, engenheiro da empresa automobilística japonesa Toyota Motor Company, iniciou sua jornada à Detroit, a fim de conhecer a fábrica de Rouge, o maior e mais produtivo complexo fabril da época. Eiji estudou minuciosamente as particularidades do sistema desenvolvido por Ford e assumiu que este poderia ser aperfeiçoado. A partir desse início experimental, surgiu o que a Toyota denominou de Sistema Toyota de Produção (STP), conhecido mundialmente como manufatura enxuta. (WOMACK, JONES E ROOS, 1992).

Para Invernizzi (2006), este sistema atua como uma filosofia de gerenciamento que busca atender as necessidades do cliente no menor prazo possível, a partir da mais alta qualidade e ao mais baixo custo, ao mesmo tempo que intensifica a segurança e a moral de seus colaboradores, envolvendo e integrando não só a manufatura, mas todas as áreas da organização. De modo geral, pode-se afirmar que a produção enxuta objetiva a eliminação progressiva de desperdícios, o estabelecimento de um fluxo contínuo, produzindo de acordo com a demanda do cliente, no tempo e quantidades requeridas.

Conforme descreve Souza (2010),

A produção enxuta reúne o melhor da produção artesanal e da produção em massa: a capacidade de reduzir custos unitários e aumentar tremendamente a qualidade, ao mesmo tempo em que oferece uma variedade crescente de produtos e um trabalho cada vez mais estimulante. Emprega equipes de trabalhadores multiquificados em todos os níveis da organização, além de máquinas altamente flexíveis e cada vez mais automatizadas. (SOUZA, 2010, p. 23).

Womack e Jones (2004) apontam as características deste modelo de produção:

- a) Enfoque no fluxo de produção em pequenos lotes e níveis reduzidos de estoques;
- b) Atuação em ações preventivas contra defeitos, ao invés de corrigi-los;
- c) Estratégia de produção puxada;
- d) Força de trabalho flexível;
- e) Envolvimento ativo na solução das causas dos problemas, a fim de maximizar a criação de valor ao produto final;
- f) Relacionamento cooperativo com toda a cadeia de valor.

Para Krafcik apud Queiroz (2015), o sistema de produção enxuta se tornou a maneira mais viável de organizar a produção para atingir simultaneamente altas taxas de produtividade, qualidade e complexidade dos produtos. Esta abordagem não apenas desafiou as práticas massificadas, mas estabeleceu um novo modo de pensar sobre as operações.

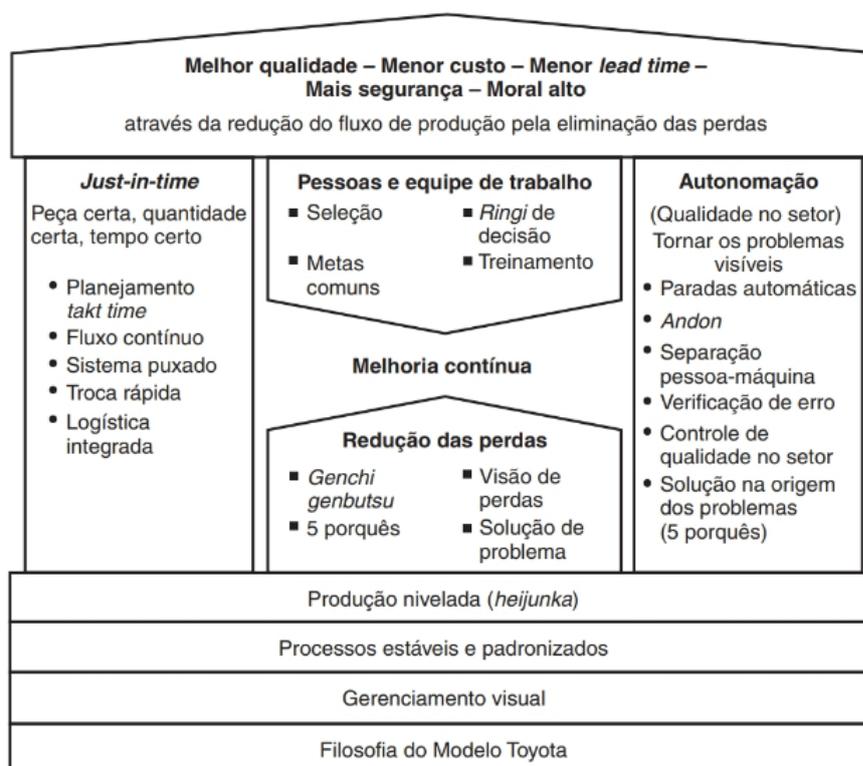
## 2.2 PILARES DO SISTEMA DE PRODUÇÃO ENXUTA

Para Rabelo Filho et al. (2011), a implementação da manufatura enxuta fundamenta-se a partir de princípios que estabelecem a eliminação sistemática dos desperdícios e uma cultura orientada à melhoria contínua dos processos.

Pascal (2008) complementa ao afirmar que a abordagem *lean* não se limita ao delineamento de um conjunto de princípios e ferramentas, mas à uma filosofia que abrange toda a cadeia do fluxo de valor. A implementação de cada conceito depende estreitamente da ferramenta anterior, formando assim um sistema progressivo.

Com o intuito de disseminar as práticas da produção enxuta aos seus colaboradores e fornecedores, Ballé e Evesque (2008) descrevem que a Toyota ilustrou seus princípios e ferramentas a partir de um sistema estrutural, denominado “Casa do Sistema Toyota de Produção”, conforme apresentado pela Figura 1.

Figura 1: Casa do Sistema Toyota de Produção



**Fonte:** Liker, 2008.

Liker (2008) explica que a Casa do STP evidencia a interdependência entre os elementos que compõe o sistema, através do estabelecimento de uma associação estrutural. Ballé e Evesque (2008) explicam que o diagrama atua com base em quatro níveis fundamentais:

- O telhado estabelece os objetivos a serem alcançados – níveis superiores de qualidade, segurança e moral. Menores custos e *lead times*;
- As colunas indicam como olhar para as operações a fim de alcançar os objetivos definidos – melhorar, simultaneamente, os níveis atuais de *just in time* e automação;
- O centro do sistema evidencia a melhoria contínua, operando através do envolvimento de pessoas motivadas, qualificadas e engajadas, bem como a minimização dos desperdícios provocados pelo sistema;
- O alicerce mostra como desempenhar na prática – para atingir os objetivos estipulados, torna-se necessário a condução de iniciativas de *kaizen*, o desenvolvimento e aperfeiçoamento dos padrões de trabalho e o

estabelecimento de condições básicas de estabilidade em termos de mão de obra, máquinas, materiais e métodos.

Hoeft (2013) enfatiza que as ferramentas e princípios descritos não devem ser estabelecidos como objetivos, mas sim, o pleno atendimento às necessidades dos clientes, fornecendo produtos com qualidade superior, aos menores custos e *lead times*.

### 2.3 PRINCIPAIS FERRAMENTAS DO SISTEMA DE PRODUÇÃO ENXUTA

Nesta seção encontram-se descritas as principais ferramentas e técnicas empregadas pelo sistema de produção enxuta.

#### 2.3.1 *Just in time*

Moura (2003) descreve o *Just in time* (JIT) como uma abordagem disciplinada que busca melhorar os níveis de produtividade e qualidade total, através do respeito pelas pessoas e da eliminação sistemática dos desperdícios. O JIT determina que tudo deve ser entregue na quantidade, no tempo e no local correto, enquanto se utiliza o mínimo de instalações, equipamentos, materiais e recursos humanos.

Para Slack et al. (2007), JIT significa produzir bens e serviços exatamente no momento em que são necessários. Seu propósito consiste em atender aos clientes internos e externos sem produzir antes do solicitado, a fim de evitar a formação de estoques, nem depois, para que os clientes não tenham que esperar. De forma geral, o *Just in time* busca atender à demanda instantaneamente, com qualidade perfeita e sem desperdícios. Ainda de acordo com o autor, esta abordagem requer:

- a) Elevados níveis de qualidade, a fim de evitar distúrbios capazes de reduzir o fluxo de materiais, a confiabilidade de fornecimento e o aparecimento de estoques;
- b) A velocidade do fluxo de materiais torna-se essencial para atender à demanda através da produção ao invés de estoques;
- c) A confiabilidade é um pressuposto para atingir um fluxo rápido de produção;
- d) Flexibilidade para que se possa produzir em lotes pequenos, garantindo um fluxo rápido e *lead times* curtos.

Corrêa e Gianesi (1993) afirmam que o *Just in time* se tornou mais do que um conjunto de técnicas de administração da produção. É uma filosofia gerencial que engloba aspectos de administração de materiais, arranjo físico, projeto de produto, gestão de recursos humanos, organização do trabalho e gestão da qualidade.

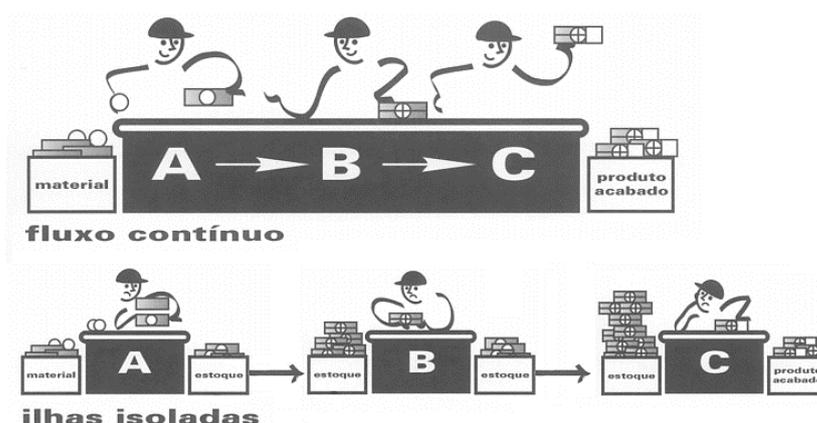
### 2.3.1.1 Fluxo contínuo

Segundo Rother e Harris (2002), operar em fluxo contínuo significa processar e movimentar um item por vez, ao longo de uma série de etapas do processo, de maneira contínua e executando apenas o que é exigido pelo estágio seguinte.

Para Kosaka (2009), o fluxo contínuo busca eliminar paradas e reinícios de produção, práticas típicas dos sistemas produtivos convencionais. Dessa forma, torna-se possível a detecção imediata de não conformidades, a redução dos tempos de processamento e a formação de estoques em processo.

Araújo (2009) afirma que o fluxo contínuo presume que as operações trabalhem de acordo com um mesmo ritmo de produção, atendendo ao tempo *takt*. O objetivo principal consiste em aproximar os processos, diminuir os lotes e reduzir as movimentações de materiais em processamento. A Figura 2 compara um processo operando em fluxo contínuo e outro, em etapas isoladas.

Figura 2: Produção em fluxo contínuo *versus* produção em ilhas isoladas



**Fonte:** Adaptado de Rother e Shook, 2007.

Enquanto os processos tradicionais resultam em desperdícios e acúmulos de materiais entre as estações de trabalho, a produção que opera em fluxo contínuo

apresenta processos interdependentes, capazes de assegurar a fluidez ao longo do processamento. (DOTTO, 2016).

#### 2.3.1.2 Sistema puxado

De acordo com Severo Filho (2006), a produção puxada é uma maneira de conduzir o processo produtivo de tal forma que cada estação de trabalho exija o processamento da estação seguinte. Desta forma, à medida que o estoque de produtos acabados necessita ser abastecido, é gerada uma necessidade de produção para os postos fornecedores, os quais devem receber os componentes produzidos pelas seções anteriores, e assim sucessivamente, garantindo que se produza apenas o necessário e no tempo exato, puxando a produção.

Para Womack e Jones (2004), o sistema é dito puxado quando o planejamento e controle das indústrias permitem a tomada de decisão acerca do volume de produção com base na demanda real, a partir da solicitação do cliente. Na abordagem enxuta, o sistema puxado significa que o consumidor passa a "puxar" a produção, eliminando estoques de produtos acabados e as perdas por superprodução.

#### 2.3.1.3 Troca rápida de ferramentas

De acordo com Fogliatto e Fagundes (2003), o sistema de troca rápida de ferramentas (em inglês SMED – *single minute exchange of die*), teve sua origem em 1950, quando Shingo conduziu um estudo para melhorar a eficiência de prensas de estampagem na planta Mazda da Toyo Kogyo, em Hiroshima. De forma geral, esta técnica objetiva simplificar o tempo de *setup* dos equipamentos através da eliminação das perdas atreladas ao processo de troca de ferramentas.

Shingo (1996) explica que o *setup* considera os tempos de desaceleração do equipamento, desmontagem e montagem das matrizes, o tempo de ajustes e o tempo até que o primeiro item em conformidade com a qualidade especificada seja produzido. Desta forma, o autor define dois tipos de *setup*:

- a) *Setup* interno: Atividades que podem ser realizadas somente com a máquina parada, tais como montagens e remoção de matrizes;
- b) *Setup* externo: Atividades que podem ser realizadas com a máquina em funcionamento, tais como transporte de matrizes e ferramentas.

A metodologia SMED busca converter os *setups* internos em externos para cumprir atividades que antes somente eram possíveis de serem executadas com as máquinas paradas. Com isso, torna-se possível reduzir os tempos de paradas entre os lotes de produção. (BARBOSA, 2015).

#### 2.3.1.4 Logística integrada

De acordo com Fleury (1999), a logística integrada despontou no começo da década de 80 e evoluiu rapidamente nos anos que se seguiram, impulsionada pela tecnologia da informação, pelas exigências de desempenho nos serviços de distribuição e pelos movimentos da produção enxuta e do JIT. Embora ainda em evolução, o conceito de logística integrada já se encontra bastante consolidado em empresas de países mais desenvolvidos, tanto a nível conceitual quanto de aplicação.

Para Wood Jr e Zuffo (1998), logística integrada pode ser definida como o processo de planejar, implementar e controlar eficazmente os custos, os fluxos de materiais, estoques e informações na cadeia de valor, vinculando a empresa à seus clientes e fornecedores. Pires e Musetti (2000) afirmam que a logística integrada fundamenta-se com base em três óticas – estratégica, gerencial e operacional:

- a) Visão estratégica: Proporciona a integração dos processos de abastecimento, produção e distribuição;
- b) Visão gerencial: Remete ao engajamento e interação entre as gerências de logística, *marketing* e vendas;
- c) Visão operacional: Compreende o estudo do relacionamento do setor de logística com o restante dos membros da cadeia de suprimentos, bem como a interação entre as áreas operacionais.

A integração das funções logísticas, do abastecimento à venda, é capaz de proporcionar resultados positivos para as organizações, sobretudo, ao adequar e reduzir os estoques e os custos logísticos. (KOBAYASHI, 2000).

#### 2.3.2 Jidoka

*Jidoka*, no STP, significa automação com um toque humano. Aguirre e Pretz (2011) afirmam que este conceito foi concebido por Ohno, a partir da idealização de

um *layout* que permitisse a um mesmo trabalhador operar mais de uma máquina durante o ciclo de operação.

De acordo com Pires, Stringari e Silva (2012), *jidoka* consiste na transferência da inteligência humana para a máquina. Dessa forma, tanto o operador como o sistema têm a autonomia de interromper o trabalho sempre que se depararem com alguma condição anormal no processamento. A automação torna possível manter um sistema à prova de erros, evitando desperdícios com produtos defeituosos e superprodução.

Grout e Toussaint (2010) resumem os passos básicos do *jidoka*:

- a) Detectar o problema;
- b) Parar o processo;
- c) Restaurar o processo para funcionamento adequado;
- d) Investigar a causa raiz do problema;
- e) Tomar as medidas para solucionar o problema.

Para Martins (2009), este princípio se relaciona diretamente à forma de trabalhar com máquinas e métodos para se construir a qualidade do produto em cada etapa do processo. Os principais conceitos envolvem a separação de homens e máquinas para um trabalho mais eficiente e em impedir a propagação de defeitos ao longo do fluxo de produção. Quando a máquina ou o operador interrompem o processamento, o problema torna-se imediatamente visível.

#### 2.3.2.1 Sistema *poka-yoke*

Segundo a *Factory Magazine* apud Silva (2010), o sistema *poka-yoke* foi idealizado pelo engenheiro Shigeo Shingo como um meio para se atingir uma taxa de zero defeitos e, eventualmente, eliminar as inspeções para o controle de características da qualidade.

De maneira geral, o *poka-yoke* consiste em um mecanismo de detecção de anormalidades que, ao ser acoplado a uma operação, atua impedindo a execução irregular de uma atividade. Este sistema é uma forma de bloquear interferências na execução de processos, antecipando e detectando potenciais defeitos, a fim de evitar que cheguem até os clientes. (SHINGO, 1996).

Ferreira (2004) descreve que, essencialmente, existem duas aplicações dos dispositivos *poka-yoke* na prevenção de erros. A primeira, refere-se ao método de controle de ativação do sistema ao parar a linha de processamento. A segunda, consiste em advertir o operador, através da emissão de sinais sonoros ou luminosos. Ainda de acordo com o autor, os dispositivos *poka-yoke* são a maneira pela qual o conceito do *jidoka* é colocado em prática, uma vez que sua aplicação possibilita a separação entre homens e máquinas.

#### 2.3.2.2 *Andon*

*Andon* é o termo em japonês para “lâmpada”. Shingo (1996) descreve que este sistema consiste, fundamentalmente, em um controle visual que transmite informações importantes e sinaliza a necessidade de ações imediatas por parte dos supervisores de produção.

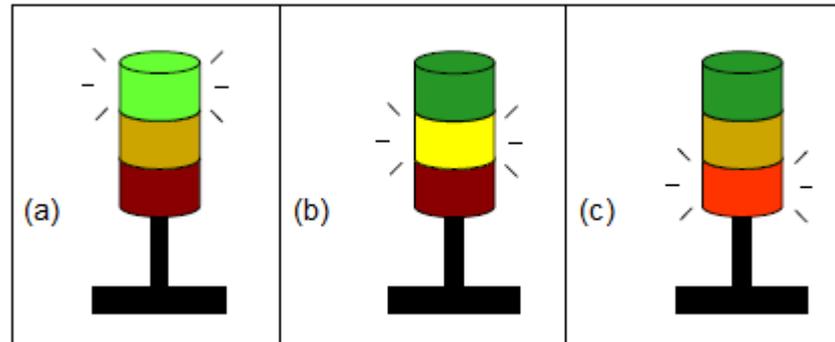
Para Ohno (1997), o *andon* é um sistema de suporte à discussão para o tratamento de problemas no chão de fábrica. A função do *andon*, entre outras características, é ser capaz de informar o *status* das operações para toda a fábrica, indicando que um problema existe e que é necessário resolvê-lo num tempo de resposta imediato.

Gallardo (2007) aponta que existem dois tipos básicos de dispositivos *andon*:

- a) *Andon* de alerta, utilizado para indicar a existência de algum problema ou falha na produção. Esta sinalização é feita por um dispositivo com luzes, a fim de possibilitar a identificação do local de ocorrência;
- b) *Andon* de *status*, empregado para informar sobre o andamento da produção. Usualmente, exibe uma comparação entre o número de peças planejadas para o turno com o número de peças produzidas até o momento. Este sistema possibilita que os líderes de produção tomem conhecimento dos atrasos e possam atuar corretivamente.

A Figura 3 exemplifica uma aplicação do *andon* na forma de dispositivos visuais com luzes.

Figura 3: Luzes *andon*



**Fonte:** Adaptado de Araújo, 2009.

Araújo (2009) descreve cada situação apresentada pelos dispositivos:

- a) Luz verde: Indica que a célula está operando normalmente, de acordo com a programação e ritmo planejado;
- b) Luz amarela: Aponta atrasos na programação ou detecção de problemas;
- c) Luz vermelha: Sinaliza uma parada na linha.

De acordo com Shingo (1996), a busca pela manutenção do fluxo contínuo é um dos objetivos mais importantes do *andon*. Sua capacidade de apresentar o *status* de produção para a fábrica, através do sistema de gestão visual, permite que os problemas sejam resolvidos instantaneamente.

### 2.3.3 MELHORIA CONTÍNUA

Nesta seção encontram-se detalhadas algumas ferramentas e princípios que orientam o estabelecimento e a manutenção da cultura da melhoria contínua.

#### 2.3.3.1 *Kaizen*

O *Lean Institute Brasil* (2003) define *kaizen* como a melhoria contínua de um fluxo de valor completo ou de um processo individual, a fim de criar valor enquanto se minimizam os desperdícios.

A essência do *kaizen* pode ser traduzida, de forma simples e direta, como melhoramento. Mais ainda, significa melhoramento contínuo, envolvendo gerentes e operários. Esta filosofia indica que todos os aspectos que envolvem uma rotina merecerem ser melhorados constantemente. (IMAI, 1994).

Pinto (2015) afirma que esta prática surgiu como uma abordagem sistemática, orientada à resolução de problemas e centrada na melhoria dos processos e na redução das perdas. Age através do senso comum e no emprego de soluções de baixo custo, que se apoiam na motivação e criatividade dos colaboradores para aperfeiçoar as práticas de seus processos de trabalho.

De acordo com Liker (2008), o objetivo do *kaizen* consiste em estabelecer uma atitude de autorreflexão e autocrítica, produzindo um contínuo anseio de melhorar. É a mudança da situação atual de um processo, sendo analisado e rapidamente implementado, onde as melhorias se traduzem em benefícios concretos.

Imai (1994) descreve os princípios básicos do *kaizen*:

- a) Foco no processo produtivo;
- b) Ênfase na prática;
- c) Princípio do aprender fazendo;
- d) Buscar por resultados imediatos;
- e) Pequenas mudanças com baixos investimentos;
- f) Disciplina e compromisso para a manutenção dos esforços.

Slack et al. (2008) afirma que o melhoramento contínuo percebe as pequenas melhorias como tendo uma vantagem competitiva sobre os grandes: eles podem ser seguidos de forma relativamente indolor por outros pequenos melhoramentos.

#### 2.3.3.2 Ciclo PDCA

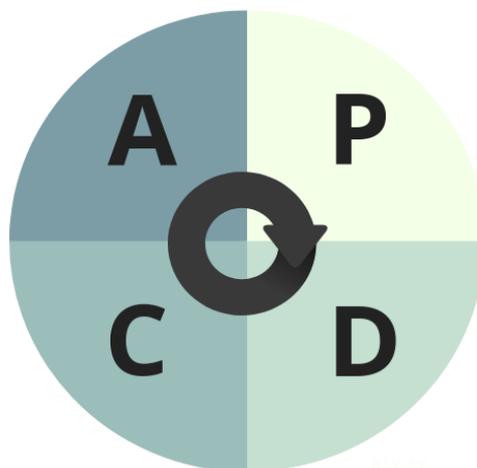
O ciclo PDCA (*plan, do, check, act*) consiste em uma ferramenta de gestão que busca melhorar e controlar os processos de forma contínua. (ALVES, 2015).

Para Júnior et al. (2008), o ciclo PDCA é um método gerencial que reflete em cada etapa a base da filosofia do melhoramento contínuo. Operando de forma cíclica e ininterrupta, esta ferramenta assegura melhorias sistemáticas capazes de consolidar a padronização da prática.

Lima (2005) descreve que o ciclo PDCA é uma ferramenta utilizada para o controle dos processos, planejamento da qualidade, manutenção de padrões e alteração da diretriz de controle - realizar melhorias. O ciclo PDCA é composto de

quatro fases básica do controle: planejar, executar, verificar e atuar corretivamente, conforme visualizado na Figura 4.

Figura 4: Ciclo PDCA



**Fonte:** Adaptado de Campos apud Alves, 2015.

Campos apud Alves (2015) descreve as fases do PDCA da seguinte forma:

- a) Planejamento (*plan*): O ciclo tem início com a definição de um plano, delimitando os objetivos e metas que se pretende alcançar. Também é estabelecido um plano de ação que conduzirá a resultados satisfatórios. De acordo com o autor, esta fase é subdividida em cinco etapas:
- Identificação do problema: Realizado sempre que a empresa se deparar com um resultado indesejado proveniente de um processo;
  - Estabelecimento das metas: Consiste na diferença entre o resultado atual e o valor futuro desejado;
  - Análise do fenômeno: Caracterização detalhada do problema detectado, através de fatos e dados coletados;
  - Análise do processo: Examinar as causas mais relevantes capazes de provocar o problema, com base nas características identificadas;
  - Plano de ação: Produto de todo processo referente à etapa planejamento, em que estão contidas detalhadamente, todas as ações que deverão ser tomadas para se atingir a meta proposta inicialmente.

- b) Execução (*do*): As tarefas programadas na etapa anterior são executadas e são coletados dados para avaliações posteriores. Esta etapa subdivide-se entre treinamento e execução da ação:
- Treinamento: Educar e treinar as partes envolvidas antes da execução, a fim de assegurar que o desempenho aconteça conforme o planejado;
  - Execução da ação: Durante a execução dos planos, é preciso realizar verificações periódicas com a finalidade de manter o controle e eliminar possíveis dúvidas que possam surgir.
- c) Verificação (*check*): Os resultados obtidos são comparados às metas planejadas. Esta etapa pode ser realizada paralelamente à execução;
- d) Agir (*act*): São realizadas ações para corrigir os desvios identificados e padronizadas aquelas que foram eficientes. É nesta fase que se o ciclo se inicia novamente, conduzindo ao processo de melhoria contínua.

Em um cenário de gerenciamento, para Juran apud Reis et al. (2017), o PDCA pode ser aplicada tanto para controlar os processos, estabilizando-os, como para controlar projetos, soluções de problemas e desenvolvimento de melhorias.

### 2.3.3.3 Programa 5S

Para Takahashi e Osada (1993), a metodologia 5S – *Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu e Shitsuke* – é uma prática focada na ação contínua, em termos de organização, arrumação, limpeza, padronização e autodisciplina capaz de transformar a percepção dos colaboradores acerca do trabalho.

Liker (2005) afirma que o 5S estabelece um processo contínuo de melhorias no ambiente de trabalho. Sua ausência resulta em perdas que se acumulam ao longo dos anos, encobrindo problemas e tornando-se uma disfunção que passa a ser aceita.

Para Rodrigues et al. (2014), o programa 5S, ao contrário de algumas ferramentas, não deve ser visto com um projeto temporário com início, meio e fim determinados, mas sim como uma constante busca pela melhoria das atividades rotineiras. Silva (1994) descreve os princípios do programa 5S:

a) *Seiri* – Senso de utilização: Consiste em selecionar e eliminar tudo aquilo que é desnecessário ao ambiente de trabalho. Em sentido amplo, estende-se à eliminação de tarefas desnecessárias, à correta utilização de equipamentos, ao excesso de burocracia e desperdícios de recursos em geral;

b) *Seiton* – Senso de organização: Nesta etapa busca-se determinar locais apropriados para estocar, guardar e dispor materiais, ferramentas e utensílios;

c) *Seiso* – Senso de limpeza: Objetiva eliminar a sujeira a fim de manter o ambiente limpo. Este senso não se limita ao ato de limpar, mas busca educar para não sujar, de maneira que cada funcionário cuide da sua área de trabalho, mantendo o ambiente agradável;

d) *Seiketsu* – Senso de saúde: Refere-se aos quesitos de higiene, saúde e integridade. Pretende estabelecer condições favoráveis à saúde física e mental, tornando o ambiente livre de agentes poluentes;

e) *Shitsuke* – Senso de autodisciplina: Estabelece disciplina e compromisso. Potencializa o hábito de analisar e seguir normas e procedimentos, atendendo às especificações. Caracteriza-se pelo desenvolvimento mental, moral e físico.

Campos et al. (2004) destaca que entre tantas ferramentas e programas que proporcionam aumento de competitividade, o programa 5S consiste em um requisito fundamental para iniciar qualquer atividade de melhoria, uma vez que prepara o ambiente para que outras ferramentas e programas de melhoria possam ser desenvolvidos.

#### 2.3.3.4 Os 5 porquês

O método dos 5 porquês consiste em uma abordagem científica, aplicada no Sistema Toyota de Produção, para se chegar à verdadeira causa raiz de um problema que geralmente está escondida através de sintomas óbvios. (OHNO, 1997).

A técnica de análise dos 5 porquês, segundo Fernandes, Ribeiro e Almeida (2016), consiste em perguntar o porquê de um problema sucessivas vezes a fim de encontrar sua causa raiz. Ainda de acordo com os autores, embora o método sugira

que sejam obtidas cinco respostas, nada impede que sejam elaboradas mais, ou até menos perguntas.

Aguiar (2014) explica que esta metodologia prevê que a primeira pergunta da série deve ser construída utilizando como base o próprio problema. A segunda, deve ser elaborada de acordo com a resposta do primeiro porque, e assim, sucessivamente até que se chegue à causa fundamental.

Liker (2008) considera a análise dos 5 porquês como uma parcela integrante da filosofia *kaizen*. De acordo com o autor, este método atua para encontrar as causas mais profundas de um problema, trazendo à tona soluções igualmente profundas.

#### 2.3.4 *Kanban*

O *kanban* consiste em um método de operacionalizar o sistema de planejamento e controle puxado, através do emprego de cartões que controlam a transferência de materiais entre os estágios de um processo. Este sistema é o método mais simples para avisar o fornecedor interno sobre a necessidade de mais material a ser enviado. (SLACK et al., 2007).

De acordo com Dotto (2016), este controle pode ser aplicado através de marcadores plásticos, unidade material, ou demarcações no chão. Dessa forma, quando a embalagem ou o local demarcado for encontrado vazio, a produção do processo antecedente é disparada e o fornecedor interno é avisado da necessidade. Presume-se, portanto, que enquanto o *kanban* estiver completo, não há necessidade mais material no processo.

Slack et al. (2007) especificam três diferentes tipos de cartões:

- a) *Kanban* de movimentação ou transporte: Comunica ao fornecedor interno, ou o processo anterior, que o material pode ser removido do estoque e transferido ao destino;
- b) *Kanban* de produção: Solicita a produção de determinado item para que seja enviado ao estoque;
- c) *Kanban* do fornecedor: Sinaliza ao fornecedor acerca da necessidade de materiais em determinados pontos da produção. Este tipo *kanban* se

assemelha ao de movimentação, contudo é usualmente utilizado para comunicar aos fornecedores externos.

#### 2.3.4.1 ESTOQUES

De acordo com Moreira (2002), estoque pode ser definido como qualquer quantidade de bens físicos conservados de forma improdutiva por algum período de tempo. Constituem estoques tanto os produtos acabados, quanto matérias-primas e materiais que aguardam uso na produção.

Para Ballou apud Martelli e Dandaro (2015), estoques são acúmulos de insumos, produtos em processo e produtos acabados, distribuídos em numerosos pontos através dos canais logísticos e de produção da empresa. Chiavenato (2014) classifica e descreve as principais classes de estoque:

- a) Estoque de matérias-primas: São insumos e materiais básicos que ingressarão no processo produtivo da indústria. Por isso, pode-se afirmar que a operação é totalmente dependente das entradas de matérias-primas para garantir sua continuidade;
- b) Estoques de materiais em processamento ou em vias: Estoques de materiais que estão sendo processados ao longo do fluxo de operações - são materiais que ingressaram na empresa como matérias-primas, foram movidas do almoxarifado e ainda transitam pelas etapas do processo produtivo;
- c) Estoques de materiais semiacabados: Composto por materiais parcialmente concluídos, cujo processamento encontra-se em algum estágio intermediário de acabamento. Diferem dos materiais em processamento devido ao seu estágio mais avançado, uma vez que estão praticamente completos;
- d) Estoques de materiais acabados ou componentes: São os produtos prontos, cujo processo de produção foi totalmente finalizado. Consiste no estágio final do processamento, uma vez que já se moveram por todas as fases: matérias-primas, materiais em processamento, materiais semiacabados e materiais acabados.

Viana apud Ribeiro (2014) destaca que no cenário ideal de qualquer indústria não existiriam estoques intermediários, caso fosse possível atender a demanda interna conforme suas necessidades. O autor conclui que esta concepção é

difícilmente atingida, tornando imprescindível a existência de um nível de estoque capaz de suprir integralmente os consumidores, a fim de evitar que possíveis falhas afetem a continuidade do fluxo.

### 2.3.5 AS OITO PERDAS DO SISTEMA PRODUTIVO

O *Lean Institute* Brasil (2003) define desperdício como qualquer tarefa que consome recursos, mas que não cria valor para o cliente. Para Ghinato (2000), os princípios do STP indicam que as perdas são atividades desnecessárias que ocasionam custos adicionais.

De acordo com Slack et al. (2008), a Toyota identificou sete tipos de desperdícios, relacionados a operações de serviços e manufatura. Lima (2005) descreve cada um deles:

- a) Superprodução: Perda ocasionada quando se produz além da necessidade, ou mais rápido do que o programado. É a produção de itens para os quais não há demanda, gerando desperdícios relacionados ao excesso de pessoal e de estoques. Caracteriza-se por grandes inventários em processo, grandes lotes e necessidade de grandes espaços para estocagem. Pode-se evitar a superprodução ao reduzir as quantidades e os tempos entre os processos, compactando os *layouts* e produzindo apenas o necessário;
- b) Espera: Desperdício ocasionado por longos períodos de ociosidade de pessoas, componentes e informações que devem esperar, desnecessariamente, devido a instabilidades ou falhas no sistema. Esta perda também pode ser verificada quando operadores aguardam máquinas completarem o ciclo, funcionários que costumam supervisionar o trabalho de máquinas automáticas e intervalos por atrasos no processamentos e gargalos de capacidade;
- c) Transporte: Caracteriza-se pela movimentação excessiva e desnecessária de materiais, peças e produtos acabados através do fluxo produtivo. Esta prática é vista como desperdício de tempo e recursos;

- d) Superprocessamento: Refere-se à execução de tarefas desnecessárias durante o processo, ocasionando esforços desnecessários e que não agregam valor ao produto ou serviço. Esta perda ocorre quando os requisitos da qualidade são exageradamente rigorosos, as instruções não são claras o suficiente, ou os requisitos dos clientes não foram bem definidos;
- e) Estoques: Excesso de estoques de matérias-primas, materiais em processo e produtos acabados geram custos e demandam espaço físico adicional. O autor explica que quanto maiores os estoques, mais problemas podem estar ocultos – desbalanceamento de produção, fornecedores com entregas atrasadas, defeitos e longos períodos para preparação de máquinas;
- f) Movimentações: Desperdício ocasionado pela movimentação desnecessária de operadores durante a operação, como as operações de procurar e empilhar peças e ferramentas. Estas práticas não modificam as características do produto, nem agregam valor ao processo;
- g) Defeito: Fabricação de produtos defeituosos, que não atendem as especificações de projeto e qualidade. Estes componentes devem ser submetidos, posteriormente, a retrabalhos, ou descarte ou à substituição. São ocasionados desperdícios de tempo, esforço e equipamentos adicionais;
- h) Desperdício de talento e potencial criativo humano: Liker (2005) descreve que esta perda é sustentada pela conduta de não ouvir as percepções dos colaboradores envolvidos com o trabalho e não incentivá-los a buscar por melhorias e soluções para problemas conhecidos.

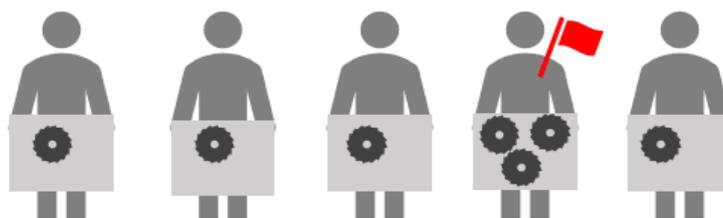
Ohno (1997) afirma que no sistema de produção enxuto, tudo o que não agrega valor ao produto do ponto de vista do cliente, é classificado como desperdício. A verdadeira melhoria na eficiência do processo é percebida quando se produz com zero desperdício.

### 2.1.6.5 TEORIA DAS RESTRIÇÕES

A Teoria das Restrições, também conhecida como TOC (*theory of constraints*) é descrita por Cogan (2005) como uma poderosa técnica para otimização da produção, devido a sua capacidade de gerenciamento das restrições, ou gargalos produtivos.

Tubino (2000) define gargalo como todos os pontos dentro de um sistema industrial – sejam máquinas, transporte, espaço ou mão de obra – capazes de limitar o fluxo de itens e a capacidade final de produção. Segundo Gibbon et al. (2008), o recurso gargalo é aquele que dita o ritmo do processo produtivo, tornando inviável que os demais recursos trabalhem em sua capacidade máxima, visto que a produção estará limitada ao recurso restritivo. A Figura 5 indica um recurso gargalo em uma linha de produção.

Figura 5: Recurso gargalo



**Fonte:** Adaptado de Blati, Kelency e Cordeiro, 2010.

A Teoria das Restrições estabelece um processo de otimização contínua, descrita por Goldratt e Cox (2002) através de cinco passos:

- a) Identificar as restrições do sistema que possam impedir que a organização atinja suas metas;
- b) Entender como explorar as restrições para obter o máximo proveito;
- c) Subordinar os demais recursos às restrições;
- d) Elevar as restrições, aumentando a capacidade produtiva do recurso gargalo a fim de incrementar a capacidade de fluxo do sistema;
- e) Retornar à primeira etapa.

Goldratt e Cox (2002) alertam sobre a possibilidade de o recurso gargalo oscilar no processo, ocasionando ociosidade em alguns pontos e sobrecarga em outros. Os autores concluem que uma das maneiras de controlar um gargalo

situacional é através da admissão de estoque nos processos identificados como ociosos.

### 2.3.7 Heijunka

O *Lean Institute Brasil* (2003) define *heijunka* como o nivelamento do tipo e da quantidade de produção durante um determinado período. Este conceito permite que a produção atenda à demanda enquanto evita a formação de excesso de estoques, reduz custos, mão de obra e o *lead time* de produção ao longo do fluxo de valor.

Para Ghinato apud Araújo (2009), o *heijunka* fundamenta-se através do estabelecimento de uma programação nivelada, por meio do sequenciamento de pedidos em um padrão repetitivo e do nivelamento das variações diárias dos pedidos para atender a demanda à longo prazo – é o nivelamento das quantidades e tipos de produtos. Araújo (2009) descreve os requisitos necessários para atingir bons resultados a partir do estabelecimento de uma produção nivelada:

- a) Nivelar, preferencialmente, os itens mais frequentes e que representam os maiores volumes;
- b) Estabelecer o tempo *takt* e os intervalos de produção;
- c) Determinar a frequência de produção e o tamanho do estoque final dos itens;
- d) Manter os tempos de *setup* baixos;
- e) Padronizar os processos;
- f) Controlar os dados da produção para sustentar a produção nivelada.

Rother e Harris (2002) afirmam que a aplicação do *heijunka* transforma a instabilidade da demanda em um processo nivelado e previsível. Quando combinado com outras aplicações enxutas, é capaz de assegurar a estabilidade do fluxo de valor.

### 2.3.8 Mapeamento do fluxo de valor

O mapeamento do fluxo de valor, também conhecido como *value stream map* (VSM), é uma ferramenta que utiliza papel e lápis para auxiliar o usuário a enxergar o deslocamento de materiais e informações ao longo do fluxo de valor. Portanto, mapear o fluxo de valor consiste em percorrer a trilha da produção de um produto, do fornecedor ao consumidor, ilustrando uma representação visual em cada processo. Em seguida, são formuladas questões-chave e a medida em que são

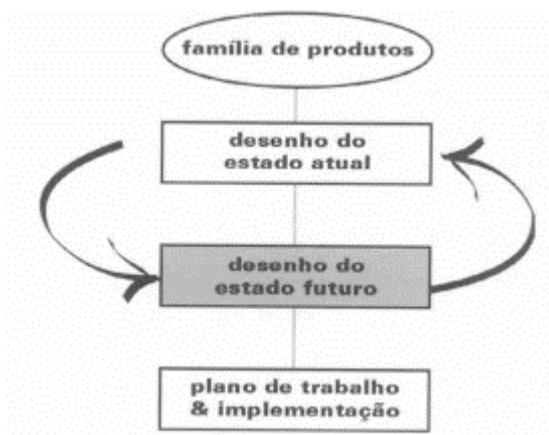
respondidas, um desenho do estado futuro surgirá com a proposta de um novo fluxo de valor. (ROTHER E SHOOK, 2008).

O objetivo do VSM, de acordo com Albuquerque (2008), consiste em identificar as ações necessárias para agregar valor aos produtos de acordo com a percepção dos clientes e dividir as diversas atividades que permeiam o processo produtivo em três categorias:

- a) Atividades que criam valor e são percebidas pelos clientes;
- b) Atividades que não criam valor, mas são indispensáveis para o processo de produção;
- c) Atividades que não agregam valor algum e devem ser eliminadas.

Rother e Shook (2008) afirmam que a aplicação do VSM é composta por quatro etapas: seleção da família de produtos, desenho do estado atual, desenho do estado futuro e planejamento e implementação do plano de ação. A Figura 6 apresenta a relação entre estas etapas.

Figura 6: Etapas do mapeamento do fluxo de valor



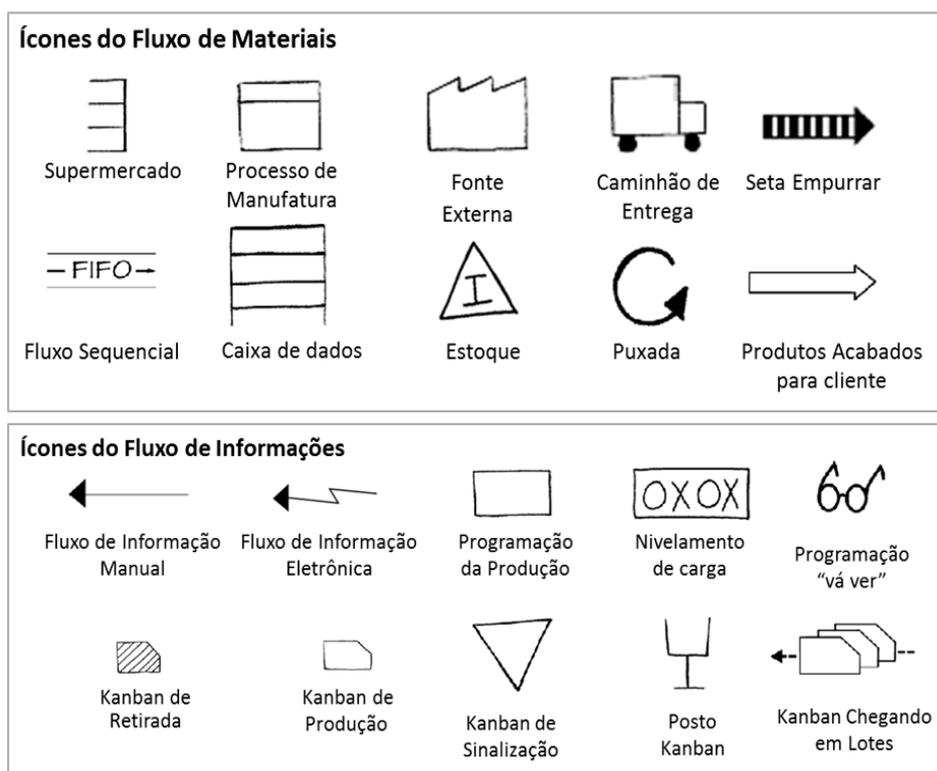
**Fonte:** Adaptado de Rother e Shook, 2008.

A aplicação do VSM deve partir de uma família de produtos para depois ser estendido às demais linhas. Rother e Shook (2008) definem família de produto como um grupo de produtos que passam por operações semelhantes e utilizam equipamentos comuns nos seus processos.

As duas etapas subsequentes consistem em ilustrar os mapas do estado atual e futuro, a partir de informações coletadas no chão de fábrica. O sentido duplo das setas entre o estado atual e futuro sugere que o desenvolvimento dos mapas têm esforços sobrepostos, uma vez que ideias sobre o estado futuro surgirão à medida que se desenha o estado atual, e da mesma forma, o desenho do estado futuro fornecerá informações relevantes acerca do estado atual que podem ter passado despercebidas. (ALBUQUERQUE, 2008).

A fim de se ter um bom entendimento do VSM nas etapas de mapeamento dos fluxos atual e futuro são adicionados ícones e símbolos padronizados aos diagramas. Estes são classificados em duas categorias, de acordo com a aplicação: fluxo de materiais e fluxo de informações, conforme ilustrado pela Figura 7.

Figura 7: Ícones empregados no VSM



**Fonte:** Adaptado de Silveira, 2016.

Por fim, de acordo com Queiroz (2015), deve-se preparar um plano de implementação para o estado futuro, de forma que sempre haverá um mapa do estado futuro e um plano de implementação em curso, indicando a busca contínua pela perfeição.

No Anexo A encontra-se exemplificada a aplicação do VSM à uma montadora fictícia, descrita por Rother e Shook no livro “Aprendendo a Enxergar”, de 2003. Neste exemplo descrito por Rother e Shook e adaptado por Silveira (2006), é possível verificar as representações dos mapas atual (a) e futuro (b). Nota-se que a implementação do fluxo contínuo possibilitou a eliminação da programação da produção para todos os processos produtivos, passando a ser enviada apenas para a expedição, processo puxador da montagem. Contudo, para que a implementação do fluxo contínuo fosse bem-sucedida, houve a necessidade de incluir supermercados e reduzir os tempos de montagem. Os autores concluem que o mapa do estado futuro se mostra mais condizente com as necessidades dos clientes, tornando a produção mais preparada a atendê-los. (SILVEIRA, 2006).

Silveira (2006) afirma que estudos demonstram a aplicabilidade do VSM em diversas áreas da manufatura e serviços. Verifica-se que através da minimização das atividades que não agregam valor, quando aplicada em ambientes de transformação *lean*, podem levar a redução dos *lead times* e dos estoques de produtos em processo.

#### 2.3.8.1 Valor agregado

Para o *Lean Institute* Brasil (2003), valor é o conteúdo inerente de um produto ou serviço, de acordo com o julgamento do cliente. Ele é criado pelo fabricante através de um conjunto de ações – algumas, capazes de proporcionar valor, outras, necessárias ao processamento. O objetivo do pensamento enxuto consiste em eliminar as atividades desnecessárias e maximizar aquelas capazes de criar valor para o cliente.

Hines e Taylor (2008) classificam estas atividades em três categorias:

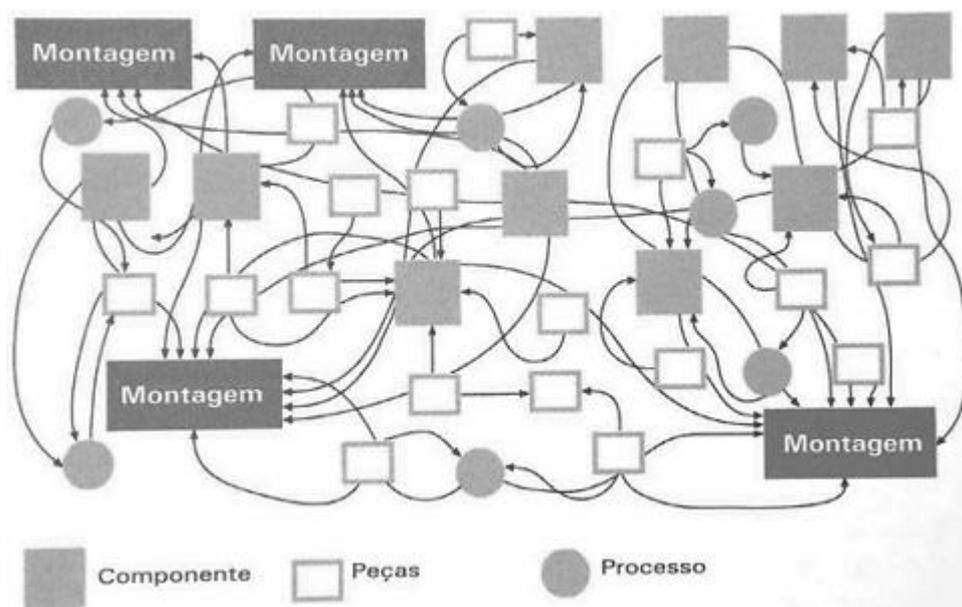
- a) Atividades que agregam valor: Atividades que fornecem características importantes ao produto final ou serviço e que o cliente se mostra disposto a remunerar a empresa por elas;
- b) Atividades que não agregam valor e são necessárias: Atividades suporte, que não possuem valor para o cliente, mas não podem ser eliminadas;

- c) Atividades que não agregam valor e são desnecessárias: Perdas ocasionadas pelo processo e que podem ser eliminadas sem causar qualquer prejuízo ao produto ou serviço.

### 2.3.8.2 Diagrama espaguete

Segundo Tapping e Shucker (2010), esta ferramenta consiste em traçar os caminhos percorridos por materiais, informações e pessoas ao longo de um fluxo de valor, a fim de evidenciar e quantificar os desperdícios de movimentação e transporte. A Figura 8 evidencia a aplicação da ferramenta diagrama espaguete à um produto genérico.

Figura 8: Aplicação do diagrama espaguete



**Fonte:** Adaptado de *Lean Institute Brasil* apud Dotto, 2016.

Oliveira, Monteiro e Ferrari (2016) afirmam que o diagrama espaguete visa demonstrar o comportamento de produtos e operadores durante as etapas de um processamento, com o objetivo de classificar os tempos que agregam e não agregam valor. As autoras explicam que esta prática auxilia a perceber e mensurar as atividades que de fato são necessárias ao processo de fabricação.

### 2.3.9 TRABALHO PADRONIZADO

O trabalho padronizado, de acordo com Ohno apud Lima (2005), consiste em um método para operar de maneira mais eficiente, sem desperdícios, focando nos

movimentos humanos e na combinação racional de pessoas, materiais, métodos e máquinas.

Segundo o *Lean Institute* Brasil (2003), o trabalho padronizado é uma prática da manufatura enxuta que estabelece procedimentos precisos para o trabalho de cada operador em um processo de produção, o qual é fundamentado através de três elementos: na taxa em que os produtos devem ser produzidos para atender a demanda do cliente (tempo *takt*), na sequência exata de execução das tarefas dentro do tempo *takt*, e no estoque padrão exigido para manter o processo operando suavemente. Rezende conceitua cada um destes elementos:

- a) Tempo *takt*: Tempo de produção de uma peça ou produto, segundo a demanda;
- b) Sequência de trabalho: Consiste em um conjunto de operações realizadas por um operador, através da determinação de sequências que permitem repetir o ciclo de forma consistente ao longo do tempo. A definição de uma rotina padrão de operações evita movimentos aleatórios, reduzindo as flutuações dos tempos de ciclo e permitindo que cada rotina seja executada dentro do tempo *takt*, de forma a atender a demanda;
- c) Estoque padrão: Corresponde à mínima quantidade necessária de peças em circulação para manter o fluxo constante e nivelado.

Spear e Bowen apud Queiroz (2015) afirmam que esta prática é a regra número um do Sistema Toyota de Produção, visto que toda e qualquer atividade deve apresentar uma especificação rigorosa acerca do conteúdo, tempo, sequência e resultado.

O *Lean Institute* Brasil (2003) destaca que usualmente são utilizados três documentos básicos na criação do trabalho padrão: o quadro de capacidade do processo, a Tabela de combinação do trabalho padronizado e o diagrama do trabalho padronizado. Estes encontram-se descritos nas seções subsequentes.

### 2.3.9.1 Quadro de capacidade do processo

O quadro de capacidade do processo, de acordo com Queiroz (2015), consiste em um formulário utilizado para calcular a capacidade das máquinas em processos conectados, com o objetivo de confirmar sua capacidade real, além de identificar e eliminar os possíveis gargalos presentes no fluxo de produção. A Figura 9 ilustra este documento.

Figura 9: Quadro de capacidade do processo

Quadro de Capacidade do Processo		Aprovado por:		Peça N°:		Aplicação:		Registrado por:
				Nome da Peça:		Linha:		
N°	Nome do Processo	Máquina N°	TEMPO BÁSICO			TROCA DE FERRAMENTA		Capacidade de processamento por turno
			MANUAL	AUTO	TOTAL	TROCA	TEMPO	
1	Corte	Cc100	5	25	30	500	2 min.	896
2	Trituração	Gg200	5	12	17	1000	5 min.	1570
3	Trituração Refinda	Gg300	5	27	32	300	5 min.	823

**Fonte:** *Lean Institute* Brasil, 2003.

O *Lean Institute* Brasil (2003) afirma que este quadro especifica o tempo de ciclo das máquinas, os intervalos entre trocas de ferramentas e os tempos dos trabalhos manuais.

### 2.3.9.2 Tabela de combinação do trabalho padronizado

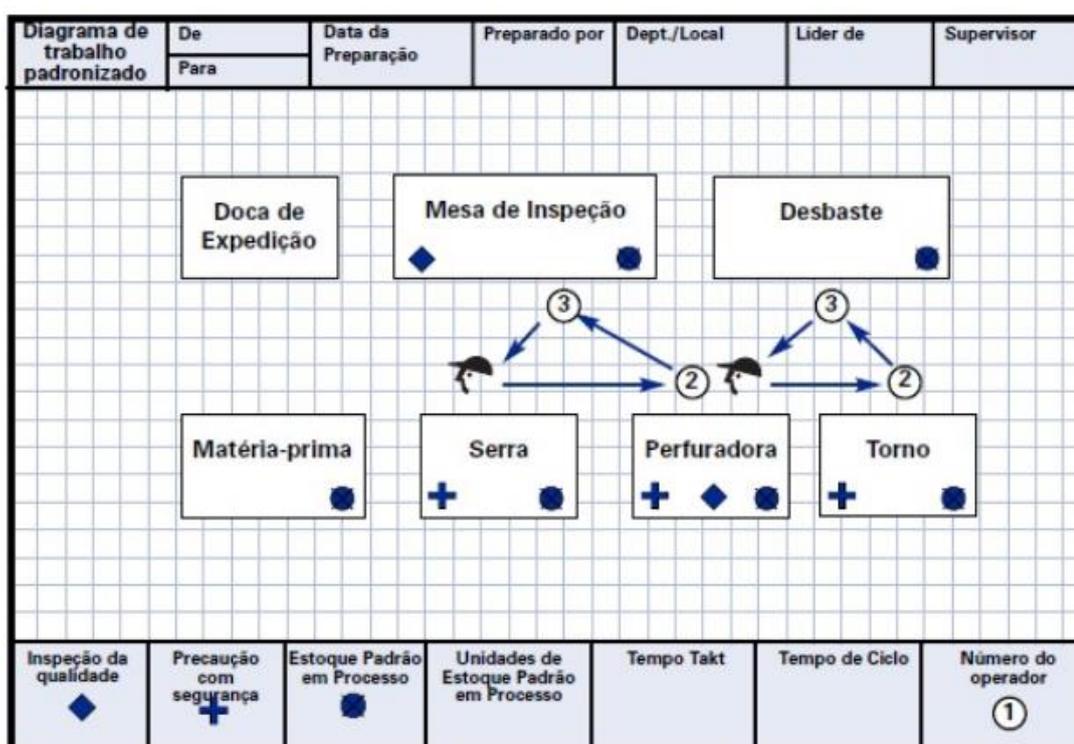
Segundo Queiroz (2015), este documento determina a combinação do tempo de trabalho manual, tempo de caminhada e tempo de processamento das máquinas para cada operador em uma sequência de produção. Esta Tabela é frequentemente apresentada de acordo com o modelo sugerido pelo Anexo B.

O *Lean Institute* Brasil (2003) afirma que esta Tabela possibilita visualizar as interações entre os operadores ao longo do processo e permite recalcular o conteúdo de trabalho de acordo com as variações do *takt time*.

### 2.3.9.3 Diagrama de trabalho padronizado

De acordo com Queiroz (2015), este diagrama exibe a movimentação do operador e a localização dos materiais em relação às máquinas e o arranjo físico do processo total. Este documento pode ser visualizado na Figura 10.

Figura 10: Diagrama do trabalho padronizado



**Fonte:** *Lean Institute* Brasil, 2003.

O *Lean Institute* Brasil (2003) afirma que o diagrama de trabalho padronizado deve especificar o tempo *takt* disponível, a sequência de trabalho e a quantidade de estoque padrão para garantir a suavidade das operações. Este documento deve ser revisado e atualizado sempre que as condições de trabalho se alterarem.

Estes documentos de trabalho padronizado usualmente são utilizados em conjunto com duas outras ferramentas – a folha de padrões de trabalho e a folha de instruções de trabalho. A primeira resume uma variedade de documentos que

definem a maneira de fabricar o produto de acordo com as especificações de engenharia e fornece requisitos operacionais precisos que devem ser seguidos para garantir a qualidade do produto. A folha de instruções de trabalho, em contrapartida, é aplicada com o intuito de treinar novos operadores. Nela estão listadas as etapas do trabalho, detalhando quaisquer habilidades exigidas para a execução das tarefas com segurança, qualidade e eficiência. (*LEAN INSTITUTE BRASIL*, 2003).

## 2.4 ESTUDO DOS TEMPOS E MOVIMENTOS

Barnes (1977) afirma que o estudo de tempos e movimentos consiste em uma análise sistemática do sistemas de trabalho, cujos objetivos são:

- a) Desenvolver o sistema e o melhor método para a aplicação;
- b) Padronizar o sistema e o método;
- c) Determinar o tempo utilizado por uma pessoa qualificada e treinada, trabalhando num ritmo normal, para executar uma operação específica;
- d) Orientar o treinamento do operador, de acordo com o melhor método para a aplicação.

### 2.4.1 Estudo dos tempos

O estudo dos tempos visa determinar, com o uso de um cronômetro, o tempo necessário para se realizar uma tarefa. Blati, Kelency e Cordeiro (2010) afirmam que além de procurar estabelecer a melhor forma de se desempenhar um determinado trabalho, o estudo dos tempos também apresenta outras finalidades:

- a) Determinar padrões que serão aplicados na elaboração de programas de produção;
- b) Determinar a capacidade produtiva da operação;
- c) Determinar o tempo de produção para atender a demanda;
- d) Determinar o valor da mão-de-obra direta para calcular o custo do produto;
- e) Fornecer dados para o balanceamento da linha.

#### 2.4.1.1 Cronoanálise

A cronoanálise é definida por Oliveira apud Bortoli (2013) como um método para cronometrar e analisar o tempo que um operador leva para executar uma tarefa no fluxo produtivo. O autor ainda esclarece que o emprego desta ferramenta é

indicado quando há necessidade de melhorar a produtividade e entender o que ocorre no processamento. Através deste método torna-se possível identificar os pontos ineficientes do processo e os desperdícios de tempo.

Barnes (1977) especifica as etapas necessárias para a aplicação da desta metodologia:

- a) Obter e registrar as informações sobre a operação e o operador em estudo;
- b) Segmentar a operação em elementos;
- c) Observar e registrar o tempo gasto pelo operador;
- d) Determinar o número de ciclos a serem cronometrados;
- e) Determinar o tempo normal;
- f) Determinar as tolerâncias;
- g) Determinar o tempo padrão para a operação.

Para determinar o número de ciclos a serem cronometrados, Souto (2016) recomenda que seja aplicado o método estatístico. Para isso, deve-se efetuar um certo número de observações preliminares, ou seja, uma amostra piloto e aplicar a Equação 1 para obter um nível de confiança de 95% e um erro de 5%.

Equação 1: Determinação de ciclos a serem cronometrados

$$n = \left( \frac{40 \sqrt{n' \sum x^2 - (\sum x)^2}}{\sum x} \right)^2$$

**Fonte:** Adaptado de Souto, 2016.

Onde:

$n$  – Tamanho da amostra a ser determinada;

$n'$  – Número de observações do estudo preliminar;

$\sum X^2$  – Somatório dos quadrados dos valores das observações [s];

$\sum X$  – Somatório do valor das observações [s].

A autora explica que, como o tamanho da amostra sofrerá variações segundo as observações de cada elemento, é possível que sejam determinados tamanhos

diferentes de amostra para os elementos de um mesmo ciclo. Neste caso, o tamanho da amostra deve ser calculado com base no elemento que apresentar a amostra de maior tamanho.

#### 2.4.1.2 Tempo de ciclo

Peinado e Graeml (2007) definem o tempo de ciclo como o tempo máximo permitido para cada estação de trabalho, antes que a tarefa seja passada para a estação seguinte. Alvarez et. al (2001) definem o tempo de ciclo em função de dois elementos: tempos unitários de processamento em cada posto e o número de operadores na linha.

Cantidio apud Sassi Junior (2012) alerta para os casos nos quais os tempos de operação dos postos de trabalho apresentarem diferenças, o tempo de ciclo não é composto pelo somatório dos tempos individuais, mas sim pelo tempo de operação do posto de trabalho mais lento e que apresentar o maior ciclo.

#### 2.4.1.3 Tempo padrão

Segundo Barnes (1977), o tempo padrão determina o número padrão de minutos que um operador qualificado, treinado e experiente necessita para completar uma tarefa em condições e ritmo normal. O autor afirma que o método mais usual para medir o trabalho é através da cronometragem.

Para Blati, Kelency e Cordeiro (2010), o tempo padrão é o tempo considerado adequado para produzir um item, levando em conta a preparação do equipamento, o tempo efetivo de operação e algumas tolerâncias, tais como a fadiga, espera e fatores pessoais. A Equação 2 indica como o tempo padrão é calculado.

Equação 2: Cálculo do tempo padrão

$$\text{Tempo padrão} = \text{Tempo normal} \times \frac{100}{100 - \text{Tolerâncias em \%}}$$

$$\text{Tolerâncias} = \text{tolerância pessoal} + \text{tolerância por fadiga} + \text{tolerância por espera}$$

**Fonte:** Adaptado de Blati, Kelency e Cordeiro, 2010.

Blati, Kelency e Cordeiro (2010) ainda complementam que a partir do estabelecimento do tempo padrão, torna-se possível calcular o tempo médio, dado pela Equação 3.

Equação 3: Cálculo do tempo médio

$$\text{Tempo médio} = \frac{\sum \text{Tempos padrões}}{\text{Número de postos de trabalho}}$$

**Fonte:** Adaptado de Blati, Kelency e Cordeiro, 2010.

O tempo médio permite obter uma divisão homogênea dos tempos entre os postos de trabalho.

#### 2.4.1.4 Tempo normal

O tempo normal é descrito por Barnes (1977) como o tempo necessário para que um operador qualificado realize o trabalho em um ritmo normal de operação e desconsiderando qualquer tolerância e interrupções. Blati, Kelency e Cordeiro (2010) descrevem ritmo normal como o ritmo que o operador é capaz de manter diariamente, sem fadiga e com esforço razoável.

#### 2.4.1.5 Tempo *takt*

O tempo *takt*, segundo Invernizzi (2006), refere-se ao tempo necessário para produzir um produto completo, baseando-se na demanda do cliente. De forma geral, este princípio condiciona e sincroniza o ritmo de produção ao ritmo das vendas.

Para Rother e Shook (2003), o tempo *takt* é a frequência de produção de uma peça ou produto, de acordo com o ritmo das vendas para atender a demanda dos clientes. O tempo *takt* é calculado dividindo-se o tempo disponível de trabalho (em segundos) por turno pelo volume da demanda do cliente (em unidades) por turno, conforme ilustrado pela Equação 4.

Equação 4: Cálculo do tempo *takt*

$$\text{Tempo takt} = \frac{\text{Tempo de produção disponível por turno}}{\text{Demanda do cliente por turno}}$$

**Fonte:** Adaptado de Rother e Shook, 2003.

#### 2.4.1.6 *Lead time*

O *lead time*, ou tempo de ressuprimento, de acordo com Peinado e Graeml (2007), indica o tempo que o fornecedor leva entregar um pedido de compra, quando se trata de um item comprado, ou o tempo de produção, quando o componente é fabricado internamente.

Rother e Shook (2003) referem-se ao *lead time* como o tempo que uma peça leva para mover-se ao longo de um processo ou fluxo de valor, do início ao fim.

#### 2.4.2 Estudo dos movimentos

De acordo com Barnes (1977), o estudo dos movimentos visa determinar o melhor método para realizar uma tarefa.

Para Slack et al. (2008), o estudo dos movimentos consiste no registro sistemático e no exame crítico qualitativo dos métodos de se realizar uma operação, a fim de desenvolver e aplicar procedimentos mais simplificados e eficazes.

### 2.5 BALANCEAMENTO DAS OPERAÇÕES

O balanceamento das operações, conforme descreve Queiroz (2015), busca dividir a carga de trabalho entre os operadores de uma linha de produção a fim de atender ao tempo *takt*, sincronizando a produção à demanda.

Gaither e Frazier (2002) recomendam que ao realizar o balanceamento de uma linha de produção, deve-se em primeiro lugar determinar o tempo de ciclo, ou seja, o intervalo de tempo em que dois componentes consecutivos deixam a linha. O autor ainda cita que este procedimento visa encontrar uma solução eficiente para duas proposições:

- a) Estabelecer o menor número de postos de trabalho necessários, considerando o tempo de ciclo;
- b) Dado um certo número de postos de trabalho, minimizar o tempo de ciclo.

Segundo Gomes et al. apud Dotto (2016), o dimensionamento de recursos e o tempo por recurso em uma linha de montagem pode ser definido de acordo com a Equação 5.

Equação 5: Dimensionamento dos recursos em uma linha produtiva

$$\text{Recursos ou estações} = \frac{\text{Tempo de produção/peça (min)} \times \text{Produção/dia (peças)}}{\text{Tempo de trabalho/dia (min)}}$$

$$\text{Tempo/recursos ou estações} = \frac{\text{Tempo/peça (min)}}{\text{Nº de recursos ou estações}}$$

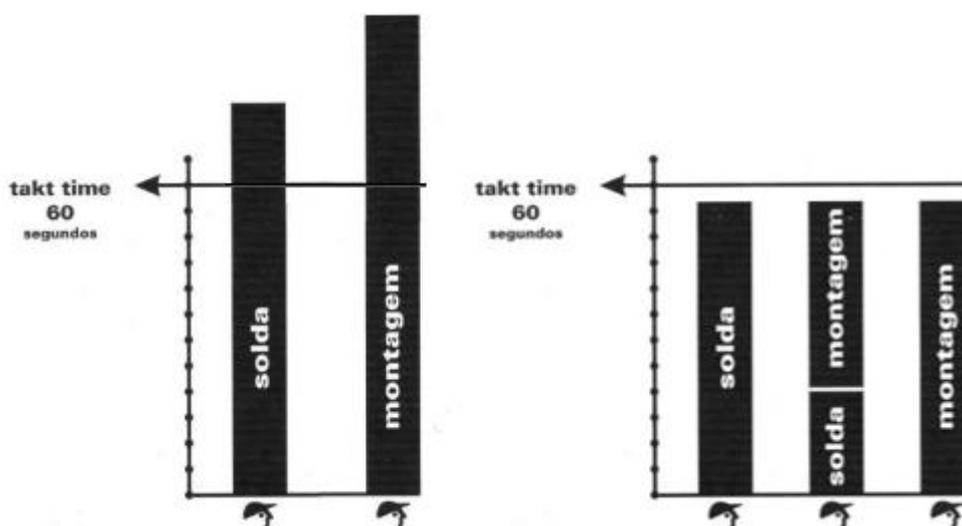
**Fonte:** Adaptado de Gomes apud Dotto, 2016.

### 2.5.1 Balanceamento do operador - *yamazumi board*

Para realizar o balanceamento do operador, o *Lean Institute* Brasil (2003) recomenda o emprego do Gráfico de Balanceamento do Operador (GBO), também conhecido como quadro *yamazumi*. De acordo com os autores, esta ferramenta é utilizada em processos que envolvem múltiplas etapas e operadores, a fim de distribuir os elementos de trabalho em relação ao tempo *takt*. Com isso, a carga de trabalho será nivelada, auxiliando no estabelecimento do fluxo contínuo.

De acordo com o *Lean Institute* Brasil (2003), as informações referentes às atividades de cada operador devem ser plotadas em um gráfico de barras, de forma a demonstrar a quantidade total de trabalho que cada um deve executar. A Figura 11 ilustra uma aplicação do GBO.

Figura 11: Gráfico de balanceamento do operador



**Fonte:** Adaptado de Rother e Shook, 1999.

A Figura 11 apresenta duas situações distintas de uma mesma linha de produção. No primeiro cenário é possível perceber o desbalanço da carga de trabalho dos operadores, resultando processos que ultrapassam o tempo *takt*. No segundo estágio, o tempo excedente é eliminado ao adicionar um operador extra. As operações tornam-se homogêneas e niveladas.

## 2.6 CAPACIDADE PRODUTIVA

Moreira (2002) define capacidade produtiva como a quantidade máxima de produtos e serviços que podem ser produzidos em uma unidade produtiva, num dado intervalo de tempo.

Para Gaither e Frazier (2002), a capacidade produtiva representa o maior nível de produção que uma empresa pode manter dentro de uma estrutura de programação de trabalho, considerando um período de inatividade normal e supondo uma disponibilidade suficiente de entradas para operar a maquinaria e os equipamentos existentes.

Gomes (2014) afirma que a capacidade produtiva pode ser classificada entre capacidade instalada, capacidade disponível, capacidade efetiva e capacidade realizada. Baseando-se neste autor, as seções seguintes caracterizam cada um destes índices.

### 2.6.1 Capacidade instalada

De acordo com Gomes (2014), a capacidade instalada refere-se a máxima capacidade que um sistema produtivo pode produzir se trabalhar ininterruptamente, desconsiderando qualquer perda. Isto é, consiste na produção que poderia ser obtida com uma jornada de trabalho de 24 horas por dia, durante todos os dias da semana e todos os dias do mês. A Equação 6 indica o cálculo para se obter a capacidade instalada.

Equação 6: Cálculo da capacidade instalada

$$\text{Capacidade instalada} = (\text{Produção/hora}) \times (24 \text{ horas}) \times (30 \text{ dias})$$

**Fonte:** Adaptado de Gomes, 2014.

### 2.6.2 Capacidade disponível

A capacidade disponível, segundo Gomes (2014), é quantidade máxima que um sistema produtivo pode produzir durante a jornada de trabalho disponível, desconsiderando qualquer tipo de perda envolvida. A Equação 7 demonstra como calcular a capacidade disponível considerando um turno de trabalho.

Equação 7: Cálculo da capacidade disponível

$$\text{Capacidade disponível} = (\text{horas disponíveis/turno}) \times (\text{dias trabalhados/semana}) \times (\text{semanas trabalhadas/mês})$$

**Fonte:** Adaptado de Gomes, 2014.

### 2.6.2 Capacidade efetiva

A capacidade efetiva representa a capacidade disponível subtraindo-se as perdas planejadas, conforme indicado pela Equação 8.

Equação 8: Cálculo da capacidade efetiva

$$\text{Capacidade efetiva} = (\text{capacidade disponível}) - (\text{perdas planejadas})$$

**Fonte:** Adaptado de Gomes, 2014.

O autor explica que entre as perdas planejadas, estão as manutenções preventivas, trocas de turnos, refeições, ginástica laboral e o tempo de *setup*.

### 2.6.2 Capacidade realizada

A capacidade realizada representa a capacidade real em um determinado período de tempo. Ainda, de acordo com Gomes (2014), esta medida é obtida através da subtração das perdas não planejadas da capacidade efetiva, conforme indicado pela Equação 9.

Equação 9: Cálculo da capacidade realizada

$$\text{Capacidade realizada} = (\text{capacidade efetiva}) - (\text{perdas não planejadas})$$

**Fonte:** Adaptado de Gomes, 2018.

O autor explica que as perdas não planejadas podem ser acarretadas pela falta de funcionários, ausência de matéria-prima, falta de energia e manutenções corretivas.

## 2.7 ARRANJO FÍSICO

Moreira (2002) afirma que o arranjo físico, ou *layout*, diz respeito à disposição das máquinas, equipamentos e pessoas ao longo do processo produtivo. A preocupação central é tornar os movimentos de trabalho mais simples e suaves.

Slack et al. (2008) explica que erros na definição do arranjo físico podem resultar em padrões de fluxo muito longos e confusos, filas de clientes, longos tempos de processamento e aumentos de custos. O autor classifica e descreve os quatro tipos de arranjos físicos tradicionais:

- a) Arranjo físico posicional: Neste tipo de *layout*, o produto permanece fixo enquanto os operadores e ferramentas movimentam-se em seu entorno;
- b) Arranjo físico funcional: Os recursos são organizados de acordo com as funções que desempenham e de suas necessidades comuns;
- c) Arranjo físico por produto: Os equipamentos encontram-se dispostos de acordo com a sequência de processamento, o que facilita o controle do processo e minimiza o manuseio de materiais;
- d) Arranjo físico celular: O material em processo é direcionado para operação onde ocorrerão várias etapas de seu processamento. A célula concentra todos os recursos necessários para isso e pode ter os seus equipamentos organizados por produto ou por processo. Neste tipo de arranjo físico procura-se confinar a movimentação de materiais a uma área específica, a fim de reduzir os efeitos negativos de fluxos intensos através de longas distâncias.

## 2.8 PROJETO DO PRODUTO

De acordo com Kaminski (2000), o projeto é a principal atividade daquele que desenvolve produtos. Esta atividade envolve fatores tecnológicos, econômicos, humanos, ambientais, culturais e político-sociais.

Segundo Clark e Fujimoto (1991), o processo de desenvolvimento de produtos é capaz de proporcionar vantagem competitiva à organização e encontra-se diretamente ligado à qualidade, custos e à satisfação dos clientes. Consideram

ainda, que o sucesso do produto no mercado depende da estratégia do produto e da gestão e organização do processo de desenvolvimento do produto.

Para Rozenfeld et al. (2006),

Desenvolver produtos consiste em um conjunto de atividades por meio das quais busca-se, a partir das necessidades do mercado e das possibilidades e restrições tecnológicas, e considerando as estratégias e de produto da empresa, chegar à especificações de projeto de um produto e de seu processo de produção para que a manufatura seja capaz de produzi-lo. (ROZENFELD et al., 2006, p.3)

Cunha apud Costa (2007) divide o campo de desenvolvimento de produto em três zonas distintas e interdependentes:

- a) Zona 1: Atividades ligadas à engenharia tradicional, enfatizando a elaboração de produtos vistos como sistemas técnicos. Assim, o processo de concepção do sistema consiste no ponto central da área de desenvolvimento de produto;
- b) Zona 2: O produto é visto como um elemento capaz de satisfazer as necessidades e desejos dos consumidores, objetivando concretizar o negócio da empresa. As principais preocupações são: definir o produto em sintonia com o propósito da empresa e analisar o comportamento do consumidor;
- c) Zona 3: Preocupa-se com a adoção de métodos e técnicas organizacionais mais apropriadas ao desenvolvimento do produto, a fim de adequá-lo ao usuário final, à capacidade e à logística instaladas na empresa. Enfatiza o estudo e a gestão de desenvolvimento de produto.

## 2.9 EQUIPAMENTOS ROBOTIZADOS

Segundo a *Robotic Industries Association* (RIA), um robô é definido como um manipulador multifuncional reprogramável, projetado para transportar materiais, ferramentas ou dispositivos de acordo com movimentos predeterminados, a fim de executar diferentes tarefas. (RIVIN, 1988, tradução nossa).

Romero et al. (2014) consideram um robô como algo mais complexo e completo. Os autores explicam que pode ser uma máquina capaz de realizar tarefas repetitivas, sejam elas guiadas ou predefinidas. Pode ainda, cumprir funções de maneira inteligente ao perceber o ambiente, tomar decisões e agir de acordo com a

situação encontrada. Pode ser de base fixa ou móvel, quando preparado para se locomover através do ambiente. De maneira geral, os robôs possuem diferentes níveis de percepção, locomoção, decisão e autonomia. Conforme sua capacidade de reagir, planejar ações, interagir e tomar decisões com base na percepção do ambiente, cada robô será apto a executar um tipo de tarefa – das mais simples, como aspirar o pó, às mais complexas, como as que envolvem navegação autônoma e a interação com humanos.

A Agência Europeia de Segurança e Saúde no Trabalho (2015) classifica os robôs segundo sua aplicação:

- a) Robô de serviço: Destinam-se a apoiar, atender e acompanhar os seres humanos, partilhando o ambiente e exibindo comportamentos inteligentes básicos na realização de tarefas atribuídas;
- b) Robô industrial: Manipulador multifuncional reprogramável e controlável automaticamente, com pelo menos três eixos programáveis que podem ser fixos ou móveis para utilização em aplicações industriais de automatização.

Entre as décadas de 1960 e 1990, conforme descreve a Agência Europeia de Segurança e Saúde no Trabalho (2015), a grande maioria dos robôs e do emprego da robótica em geral limitava-se a aplicações industriais. Hoje, estes equipamentos atingiram capacidades e robustez excepcionais. A robótica e o desenvolvimento da inteligência artificial transformaram as áreas militares, de segurança, saúde, transporte, logística e atendimento aos clientes. Verifica-se um crescente grau de autonomia e complexidade destes sistemas em aplicações centradas nos seres humanos.

Para Romero et al. (2014), os avanços de *hardware* e *software* nas últimas décadas proporcionaram avanços significativos na área da robótica. Em termos de *hardware*, os computadores e dispositivos passaram a ser miniaturizados, seus custos reduzidos e sua capacidade de processamento aumentada. Além disso, eles têm se tornado mais robustos e precisos, consumindo menos energia e alcançado maior autonomia. Sensores, como *lasers* e câmeras de vídeo têm se tornado mais baratos e poderosos, resultando em melhorias na capacidade perceptiva dos robôs. Novos dispositivos, como motores de alta precisão e micromecanismos têm

possibilitado o desenvolvimento de robôs mais sofisticados, capazes de atuar e se locomoverem de forma mais precisa e eficiente, mesmo em terrenos de diferentes complexidades de navegação. Esta evolução é diretamente refletida na área de *software*. A maior quantidade e precisão das informações coletadas permitem conceber novos algoritmos nas áreas de controle, tomada de decisão, processamento de imagens e reconhecimento de voz.

Segundo dados divulgados pela IFR – Federação Internacional de Robótica (2016), as vendas unitárias de robôs industriais aumentaram em 15% em 2016 ao passo que as vendas de robôs de serviço aumentaram em 25%, em comparação à 2014. (IVANOV, BEREZINA E WEBSTER, 2017).

De acordo com Middleton (2018), pesquisas da IFR revelam que no ano de 2017 as vendas de robôs de serviço aumentaram 85% para 109.543 unidades, em comparação à 2016, onde foram vendidas apenas 59.269 unidades. Para 2018 o instituto estima que as vendas totais aumentem em 32%, para cerca de 165.000 unidades, movimentando 8,7 bilhões de dólares. De 2019 a 2021, quase 740.000 unidades serão vendidas, representando um aumento médio anual de 21%.

### 2.9.1 Modularização

O projeto da modularização, conforme descrito por Huang e Li (2008, p.111, tradução nossa), consiste em um método de organização eficiente de produtos e processos, através da divisão de tarefas complexas em partes mais simples, para que possam ser gerenciadas de forma independente e ainda funcionar como um todo integrado. A questão chave na modularização é a criação de mecanismos capazes de proporcionar uma articulação eficaz das unidades constituintes.

Segundo Miller e Elgard (1998, p. 103, tradução nossa), um produto com estrutura modular é composto por unidades funcionais independentes, chamados módulos, com interfaces padronizadas e apresentam interações de acordo com as definições do sistema.

### 3 METODOLOGIA

O presente estudo classifica-se, quanto aos métodos de abordagem, como uma pesquisa dedutiva e qualitativa. Gil (2008) descreve que o método dedutivo parte de uma situação geral para explicar características particulares de um objetivo individual. Por outro lado, Guilhoto (2002) descreve que a pesquisa qualitativa pode ser definida como uma metodologia que produz dados a partir de observações extraídas diretamente nos estudo de pessoas, lugares ou processos com os quais o pesquisador procura estabelecer uma interação direta, a fim de compreender os fenômenos estudados. No caso deste estudo, inicialmente foram abordadas características da produção enxuta e as recomendações deste modelo para se estabelecer uma operação padronizada.

Pertinentemente, caracteriza-se como uma pesquisa descritiva, que de acordo com Gil (2008), preocupa-se em descrever as características de determinada população, fenômeno, ou, ainda, estabelecer relações entre as variáveis. Nesta pesquisa foram levantadas todas as informações consideradas relevantes ao tema do trabalho, no que diz respeito ao projeto, produto e processo.

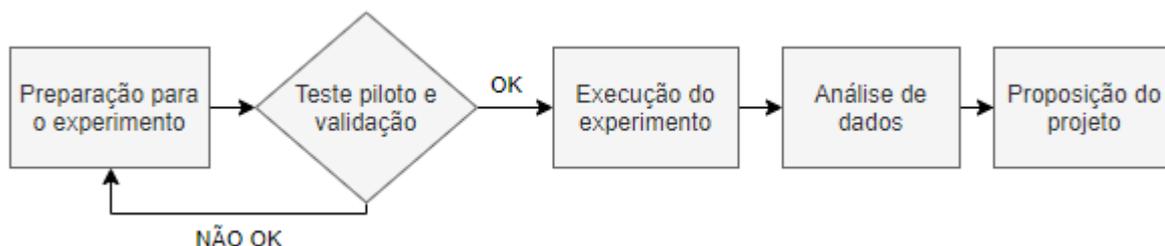
Do ponto de vista de procedimentos técnicos adotados, identifica-se como uma pesquisa bibliográfica e um estudo de caso. Silva e Menezes (2001) descrevem que a pesquisa bibliográfica é realizada com base em materiais já publicados em livros, periódicos, meios eletrônicos e revistas, a fim de fornecer um direcionamento ao estudo. Através deste método tornou-se possível aprofundar os conhecimentos referentes ao *lean manufacturing*, ferramentas do trabalho padronizado e estudo de tempos e movimentos, conceitos essenciais para cumprir com os objetivos propostos.

Yin apud Gil (2008), afirma que o estudo de caso é um estudo empírico que investiga um fenômeno atual dentro do seu contexto de realidade, quando as fronteiras entre o fenômeno e o contexto não são claramente definidas e no qual são utilizadas várias fontes de evidência. Busca-se através desta pesquisa compreender o evento em estudo e desenvolver uma proposta para padronizar as atividades que contemplam a montagem de um equipamento robotizado.

### 3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS

A fim de cumprir com os objetivos propostos pelo estudo, verificou-se a necessidade de estabelecer uma sucessão de tarefas, apresentadas esquematicamente pela Figura 15.

Figura 12: Estrutura de desenvolvimento do estudo



**Fonte:** Autora, 2018.

Atualmente o projeto responsável pelo desenvolvimento do equipamento robotizado encontra-se na etapa de prototipagem. Kaminski (2000) afirma que nesta fase o produto é representado por modelos criados com a finalidade de auxiliar na análise ou previsão de determinados fenômenos e processos. Evidencia-se, portanto, que durante este estágio inexistente uma demanda comercial capaz de estabelecer um processo de fabricação regular. Em vista disso, a fim de viabilizar este trabalho e assegurar uma adequação à realidade, foram realizados experimentos com o objetivo de simular os procedimentos que compõem a linha principal de montagem do robô. Neste estudo, o termo experimento será abordado de acordo com a definição de Thomas e Nelson (2002): “Teste ou conjunto de testes realizados com a finalidade de verificar uma hipótese ou induzi-la, a partir da observação de um fenômeno natural ou provocado”.

Para isso, verificou-se a necessidade de especificar, de forma preliminar, sequências precisas das operações a serem simuladas, a fim de garantir que os operadores efetuassem a mesma série de movimentos por vez. Também foram realizados testes que buscaram comprovar a coerência das sequências determinadas – caso comprovada, o modelo seria adotado. Caso não, o modelo deveria ser adequado até que se obtivesse um resultado satisfatório. Durante as simulações foram levantados os tempos de operação para cada estágio da montagem, através das técnicas sugeridas pela cronoanálise.

Posteriormente às etapas de obtenção e análise de dados, foi possível estabelecer o tempo normal, tempo padrão e o tempo *takt*, informações imprescindíveis para a aplicação de uma metodologia padronizada. Igualmente, através do balanceamento da linha foi possível determinar a quantidade de recursos necessários aos estágios produtivos. Por fim, foi proposto um sistema para padronizar o processo produtivo das montagens que integram a linha principal do componente robotizado. A implementação deste método possibilitará o estabelecimento de controles do processo e do produto, bem como, garantirá a conformidade do produto final ao projeto.

### 3.2 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Os materiais, equipamentos e recursos necessários ao desenvolvimento deste estudo encontram-se descritos no Quadro 1.

Quadro 1: Materiais e equipamentos utilizados

Nome	Descrição	Aplicação
<i>Cronômetro online Time and Date</i>	<i>Cronômetro online para marcar intervalos de tempo</i>	Utilizado para medir os tempos durante as simulações dos procedimentos de montagem
Microsoft Excel	<i>Software que permite editar planilhas eletrônicas</i>	Utilizado para desenvolver os documentos pertinentes ao trabalho padronizado, bem como os gráficos <i>yamazumi</i>
Câmera Fotográfica Digital	Instrumento óptico para captação de imagens	Utilizado para fotografar os componentes do equipamento robotizado e algumas etapas de montagem

**Fonte:** Autora, 2018.

A partir da definição da metodologia e com os materiais e ferramentas dispostos, foi possível dar início à fase de execução do projeto.

## 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados de um modelo para padronizar os métodos e processos que compõem a linha principal de montagem do protótipo de um equipamento robotizado.

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DO EQUIPAMENTO ROBOTIZADO

Nesta seção encontram-se relacionadas informações detalhadas acerca do equipamento robotizado, bem como, sobre o projeto responsável pelo seu desenvolvimento.

#### 4.1.1 Projeto

Resultado de uma parceria entre a Faculdade Horizontina – FAHOR e uma empresa especializada no desenvolvimento de softwares de gestão corporativa, o projeto FAHORobotics foi formulado no ano de 2017 a partir da combinação dos ideais pregados pelas duas instituições: estimular o progresso e a inclusão tecnológica no município de Horizontina-RS, bem como, propiciar o desenvolvimento de talentos e a integração de ideias entre os acadêmicos partir da aplicação dos conhecimentos em robótica.

Neste contexto, os alunos dos cursos de Engenharia de Controle e Automação e Engenharia Mecânica da FAHOR foram desafiados a desenvolver um robô remotamente controlado de baixo custo, capaz de interagir com o ambiente e de se locomover ao longo do perímetro urbano. Este projeto deveria ser concebido aos moldes de um robô de atendimento, a fim de auxiliar nas operações de suporte ao cliente no comércio local.

Por tratar-se de um equipamento protótipo, o mesmo ainda em ainda se encontra em fase de teste e possivelmente sofrerá alterações em seus componentes. Sendo assim, o estudo deste trabalho foi elaborado com base no equipamento robotizado versão 1.

#### 4.1.2 Produto

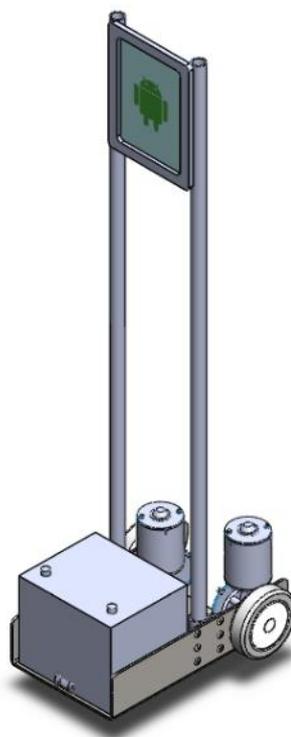
Os componentes eletrônicos, o *software* e os componentes estruturais do equipamento robotizado foram projetados pelos alunos dos cursos de Engenharia Mecânica e Engenharia de Controle e Automação da FAHOR.

Em conjunto com a empresa patrocinadora do projeto foram estabelecidos os requisitos mecânicos e de desempenho que deveriam ser cumpridos pelo robô:

- a) Atingir uma velocidade média similar a caminhada humana;
- b) Locomover-se em ambiente interno e externo, e para isso, deve possuir dois motores interdependente;
- c) Acomodar componentes predefinidos;
- d) Permitir fácil manutenção;
- e) O processo de fabricação do equipamento não deveria exigir o uso de ferramentas especiais.

A partir dos requisitos do projeto foi possível chegar a um modelo satisfatório, apresentado pela Figura 13.

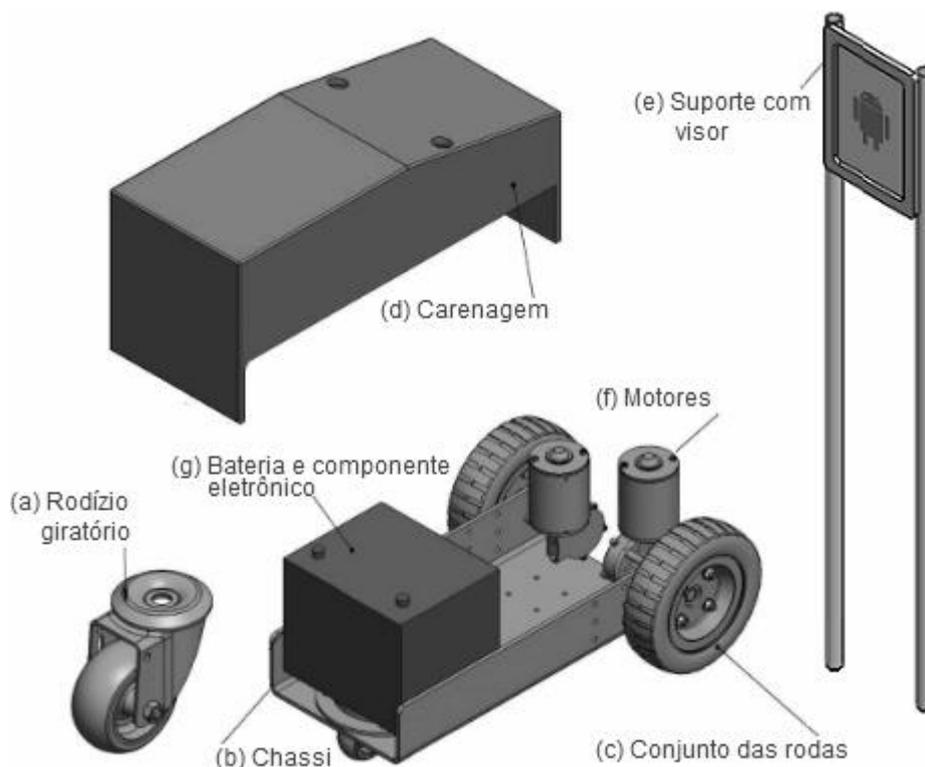
Figura 13: Projeto 3D do equipamento robotizado



**Fonte:** Adaptado de Uhlmann, 2017.

Os módulos que compõem a estrutura do robô podem ser visualizados na Figura 14.

Figura 14: Principais módulos do robô



**Fonte:** Adaptado de Uhlmann, 2017.

Uhlmann (2017) descreve a aplicação de cada item apresentado:

- a) Rodízio giratório: Terceiro ponto de apoio que permite modificar o sentido de direção sem prejudicar a mobilidade do equipamento;
- b) Chassi: Estrutura de suporte para os outros componentes;
- c) Conjunto das rodas: Transmite a força do eixo de rotação, impulsionando o veículo através do contato com o solo;
- d) Carenagem: Item de proteção contra elementos externos;
- e) Suporte com visor: Interface do cliente com tela *touch screen*;
- f) Motores: Dispositivo responsável por gerar energia mecânica a fim de impulsionar o veículo;
- g) Bateria e componente eletrônico: A bateria é responsável por armazenar energia e proporcionar autonomia ao veículo. O componente eletrônico trata-se de uma placa eletrônica com seus chicotes elétricos.

O robô é classificado como um equipamento remotamente controlado, o que sugere a dependência de uma conexão com a *web* para desempenhar funções

requeridas, tais como a transmissão de imagens do ambiente e a recepção dos comandos que orientam seu deslocamento. De forma geral, pode-se dizer que o controle remoto atua através de uma interface hospedada em um servidor para permitir a interação do usuário como o equipamento.

## 4.2 OBTENÇÃO DE DADOS DO PROCESSO

Nesta seção encontram-se descritas as etapas que possibilitaram a execução do experimento de simulação dos processos produtivos do equipamento robotizado. Através deste experimento, foram coletados dados que viabilizaram o cumprimento dos objetivos propostos pelo estudo.

### 4.2.1 Preparação para o experimento de simulação

A fim de assegurar que o experimento obtivesse êxito e se adequasse a realidade, verificou-se a necessidade de determinar alguns pré-requisitos capazes de orientar a execução dos procedimentos operacionais nas etapas que se seguem. Assim, pode-se afirmar que este estágio preliminar busca, sobretudo:

- a) Estabelecer a sequência de operações que compõem a linha de montagem principal;
- b) Identificar e quantificar itens e ferramentas necessárias à montagem do robô na linha principal;
- c) Determinar sequências precisas dos movimentos para cada operação.

Inicialmente o protótipo do robô foi recebido montado, de acordo com a sua configuração padrão. Com o objetivo de avaliar o equipamento e conhecer suas particularidades, ele foi desmontado e suas peças e itens foram reagrupadas em pequenos conjuntos de montagem, utilizando os desenhos técnicos como apoio. A Figura 15 exemplifica esta divisão.

Figura 15: Divisão de itens conforme grupos de montagem



**Fonte:** Autora, 2018.

A Figura 15 exemplifica a divisão dos itens que compõem as montagens de um motor, do rodízio giratório e do componente eletrônico. A partir da segmentação dos componentes, foi possível determinar que a linha principal do processo seria composta pelas operações que envolvem as montagens dos grandes módulos do equipamento no chassi – motores, conjunto do rodízio giratório, conjunto das rodas traseiras, componente eletrônico, bateria, carenagem e suporte com visor. Logo, os elementos que devem passar por processamentos preliminares integram as operações secundárias, denominadas pré-montagens. Conforme mencionado anteriormente, neste estudo serão considerados apenas os processos compostos pela linha principal.

Depois de delimitados os componentes a serem montados ao longo das linhas principal e secundária, foram explorados possíveis arranjos do sequenciamento das operações no chão de fábrica. Neste sentido, foi possível perceber que devido a restrições do projeto do produto, alguns elementos não permitem que sejam realizadas montagens posteriores – como no caso do chassi, que somente poderá ser fixado após a instalação dos itens internos. Assim, foram levantadas as relações de dependência entre os processos de montagem, conforme apresentado pela Tabela 1.

Tabela 1: Matriz de dependência entre as operações

Operação	Descrição	Dependência
A	Montagem dos motores	-
B	Montagem do conjunto do rodízio	-
C	Montagem das rodas traseiras	A
D	Montagem do componente eletrônico	-
E	Montagem da bateria	B
F	Montagem da carenagem	A, B, C, D, E
G	Montagem do suporte com visor	F

**Fonte:** Autora, 2018.

Com base nas informações obtidas a partir da Tabela 1, foram identificadas cinco alternativas satisfatórias:

- a) D - A - B - C - E - F - G;
- b) B - A - C - D - E - F - G;

- c) A - B - C - D - E - F - G;
- d) B - A - D - E - C - F - G;
- e) B - A - D - E - F - G - C.

A análise de critérios relacionados a facilidade de acesso para a execução dos processos condicionou a opção “c” como a melhor sequência para a distribuição das operações ao longo da linha principal.

Posteriormente, foram identificados e quantificados os elementos e ferramentas necessárias à execução dos processos de montagem para uma unidade do robô, conforme apresentado no Apêndice A e pela Figura 16.

Figura 16: Ferramentas necessárias às operações de montagem



**Fonte:** Autora, 2018.

As ferramentas identificadas são simples, mas justificam-se pela aplicação de baixo custo a que se destinam:

- a) Chave combinada Nº 10;
- b) Chave combinada Nº 13;
- c) Chave de fenda média;
- d) Alicates universal;
- e) Chave canhão Nº 7.

Por fim, verificou-se a necessidade de garantir que os operadores, ao executarem a simulação dos processos, sigam a mesma sequência de movimentos por vez. Para isso, as operações foram descritas de forma precisa e divididas em

elementos, conforme recomendado por Barnes (1977). Nestes moldes, a Figura 17 descreve as etapas necessárias para o cumprimento da montagem dos motores no chassi, definida como a primeira operação do ciclo.

Figura 17: Movimentos precisos para a montagem dos motores

Elementos	Descrição
1	Posicionar três parafusos nas furações, ao lado esquerdo do chassi
2	Posicionar três buchas nos parafusos
3	Posicionar um motor verticalmente no chassi, conforme os parafusos
4	Com a chave combinada, realizar o aperto dos parafusos
5	Posicionar três parafusos nas furações, ao lado direito do chassi
6	Posicionar três buchas nos parafusos
7	Pegar um motor e posicioná-lo verticalmente no chassi, conforme os parafusos
8	Com a chave combinada, realizar o aperto dos parafusos
9	Enviar o produto em processamento para o próximo posto
Materiais e Ferramentas Necessárias	
6 Unidades de Parafusos Sextavados M6X40 6 Buchas de Afastamento Ø6mm 2 Motoredutores MOTRON 210-120 1 Chave Combinada N° 10	

**Fonte:** Autora, 2018.

Esta prática assegura maior precisão e assertividade à etapa de coleta de dados. As demais operações divididas em elementos para as montagens principais podem ser visualizadas no Apêndice B.

#### 4.2.2 Teste piloto

Através desta etapa objetivou-se determinar o número de cronometragens a serem coletadas durante a execução do experimento, bem como, validar as sequências de movimentos formuladas na fase de preparação.

Neste sentido, com a finalidade de estabelecer o tamanho da amostra a ser obtida para os elementos que compõem as operações da linha principal, foi utilizado o Método Estatístico, descrito no item 2.4.1.1 do capítulo 2.

Para isso, foram dispostos quatro operadores que replicaram os elementos descritos até que se completassem quatro ciclos de montagem. Uma vez que os

tempos totais das observações foram registrados, tornou-se possível aplicar a Equação 1 para determinar o tamanho da amostra a ser cronometrada durante a execução do experimento. Os dados coletados, as etapas para a resolução da equação e os valores resultantes foram compilados na Tabela 2.

Tabela 2: Determinação de ciclos a serem cronometrados

Operação	Medições em segundos (X)				$\Sigma X$	$\Sigma X^2$	Tamanho da amostra (n)
	1	2	3	4			
A	172,20	191,25	175,14	182,72	721,31	130290,02	2,68
B	136,53	122,50	120,96	121,73	501,72	63096,21	4,21
C	73,80	76,25	68,04	74,06	292,15	21374,83	2,77
D	416,97	397,50	349,15	373,32	1536,94	593143,22	7,04
E	124,20	133,70	137,80	129,08	524,78	68951,82	2,40
F	29,52	32,50	34,02	33,78	129,82	4226,13	4,87
G	31,98	28,75	33,39	30,49	124,61	3893,82	4,91

**Fonte:** Autora, 2018.

Visto que as operações são compostas por conjuntos de elementos diferentes, percebe-se que o tamanho da amostra a ser obtida também resultou em valores diferentes. Neste caso, deve-se tomar como base a operação que demanda pela maior amostra – a montagem do componente eletrônico, denominada como operação D. Com isso, foi possível determinar que seriam coletadas sete amostras dos tempos para as operações da linha principal.

Paralelamente ao teste piloto, buscou-se validar as sequências operacionais, a fim de verificar a eficiência dos procedimentos elaborados. Ao final de cada processamento completo, o robô era verificado e comparado aos padrões estabelecidos. A condição definida para a aprovação da sequência de movimentos baseou-se na conformidade do produto final e no total entendimento dos procedimentos pelos operadores.

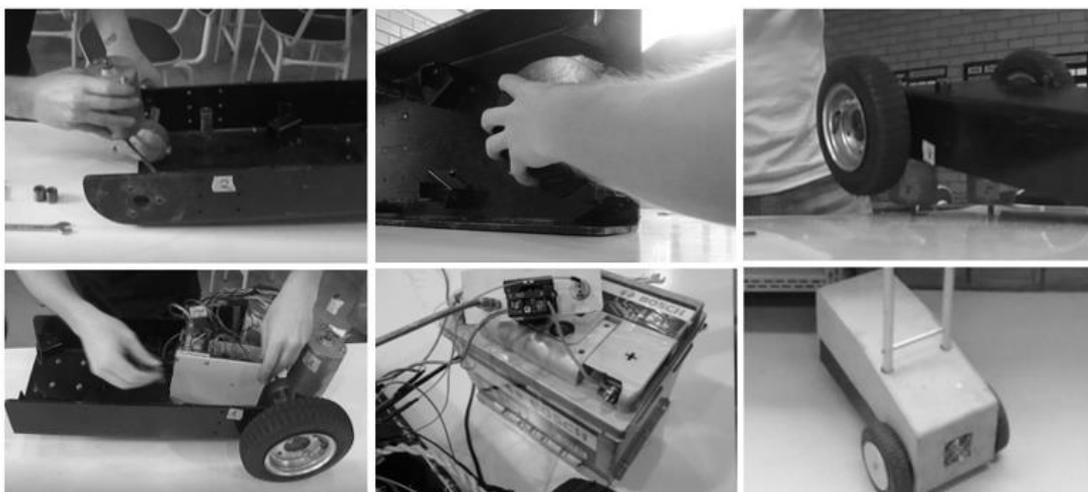
Ao concluir a validação, os elementos descritos foram aprovados, justificando-se pela simplicidade e clareza na execução das tarefas, bem como, pela compatibilidade do produto final aos requisitos do projeto.

#### 4.2.3 Execução do experimento

Após a conclusão das etapas de planejamento, teste piloto e validação, foram iniciados os experimentos de simulação dos processos de montagem do equipamento robotizado. Objetivou-se neste estágio, principalmente, a coleta dos tempos de processamento de cada operação – anteriormente denominados de tempos normais.

Neste contexto, foram disponibilizadas as sequências de movimentos validadas de acordo com a ordem de execução estabelecida. Os mesmos operadores, já treinados pelas etapas antecessoras, realizaram sete amostras dos processos descritos, conforme determinado pela aplicação do Método Estatístico. A disponibilidade de uma única unidade do protótipo do robô e o número inferior de operadores em relação à quantidade de processos, condicionaram que os colaboradores alternassem a execução das atividades ao longo dos ciclos de montagem. A Figura 18 exemplifica a execução das operações.

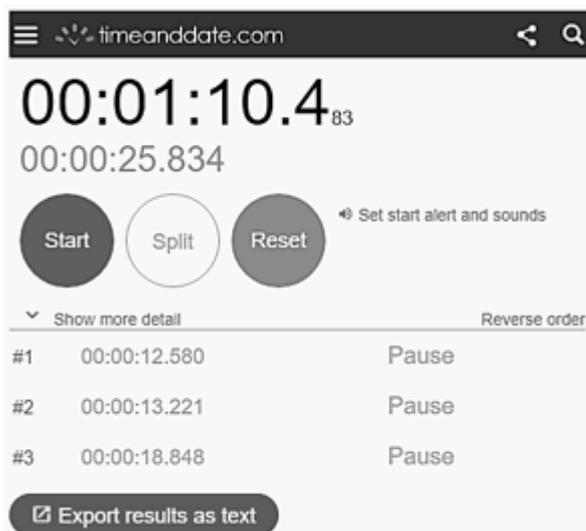
Figura 18: Execução do experimento



**Fonte:** Autora, 2018.

Os tempos foram cronometrados com o auxílio do cronômetro *online Time and Date®*. Este cronômetro permite registrar os tempos parciais dos elementos de cada operação, sem que seja necessário reiniciar a contagem sucessivas vezes. O aplicativo, conforme apresentado pela Figura 19, ainda possibilita que os dados coletados sejam exportados em formato de documento de texto.

Figura 19: Interface cronômetro *Time and Date*



**Fonte:** Autora, 2018.

O cronômetro apresenta uma interface simples, porém funcional. No botão “*Start*” a contagem é iniciada. Pressionando a opção “*Split*”, são adicionadas divisões que cronometram o tempo de cada elemento de uma operação. Em “*Reset*”, a medição é interrompida e reiniciada. Por fim, o botão “*Export results as text*” permite realizar o *download* dos tempos coletados.

Desta forma, foram registrados os tempos individuais de cada elemento para as sete amostras requeridas. Os tempos máximos, mínimos, médios e totais para cada operação realizada podem ser visualizados no Apêndice C.

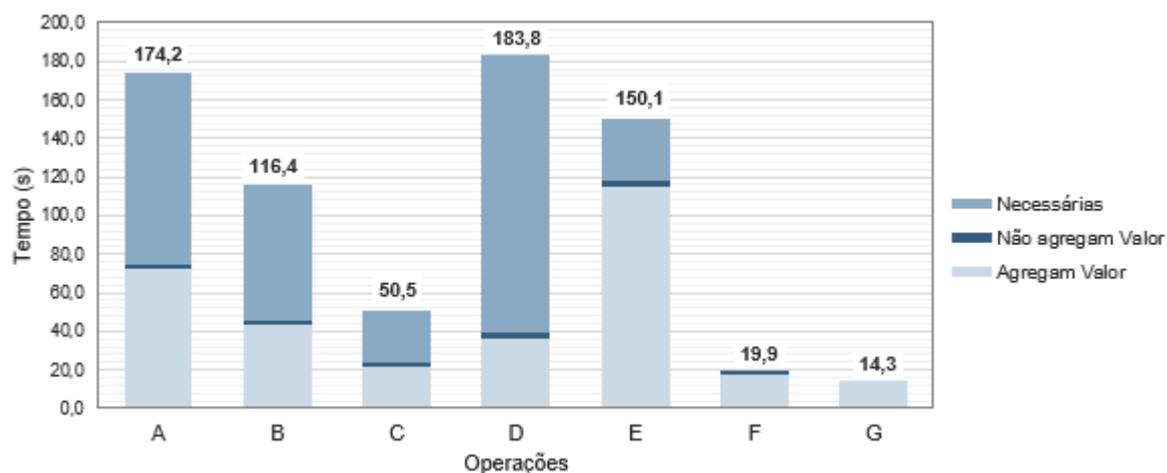
O registro dos tempos normais, através da execução do experimento, fornece dados de entrada para a determinação dos tempos normal, de ciclo e *takt*. Entre outros fatores, permite estabelecer o balanceamento da linha de montagem, indicar a quantidade de postos de trabalho e com isso, elaborar os documentos necessários à padronização dos processos de montagem do equipamento robotizado.

#### 4.2.4 Análise dos dados

Os dados do processo, obtidos durante a simulação, foram compilados em um gráfico que demonstra a situação encontrada. A Figura 20 evidencia os tempos totais médios coletados durante a reprodução dos ciclos de montagem, classificados

entre atividades que agregam valor, atividades que não agregam valor e atividades necessárias.

Figura 20: Gráfico dos tempos normais de cada operação



**Fonte:** Autora, 2018.

Verificam-se, sobretudo, dois problemas centrais: o desbalanceamento do trabalho e a existência de operações gargalo. O primeiro fator relaciona-se ao desequilíbrio da carga de trabalho entre os estágios, fazendo com que alguns colaboradores permaneçam ociosos, enquanto outros encontram-se sobrecarregados.

Por outro lado, as operações gargalo restringem o fluxo produtivo e limitam sua capacidade final. Sabe-se que cada tarefa exige um intervalo de tempo diferente para ser concluída, mas quando uma etapa leva um tempo consideravelmente maior do que as outras, formam-se os gargalos de produção. Além disso, o tempo de atravessamento da produção acaba se tornando maior do que o esperado. Observa-se que a operação “D” dita o ritmo da produção.

A sobrecarga de atividades na execução das operações “A” e “D” faz com que seja necessário maior tempo do produto na estação de trabalho, operadores adicionais ou uma redistribuição das atividades para outros postos. Especialmente quando comparadas aos processos “C”, “F” e “G”, estágios com os menores tempos registrados, nota-se o desbalanceamento da carga de trabalho atribuída a cada operador.

Contudo, apesar dos problemas de desbalanceamento e da inexistência de um padrão de linearidade na distribuição dos tempos e carga de trabalho, é possível perceber que as atividades que agregam valor e as atividades necessárias ao processamento sobressaem-se às atividades que não agregam valor, consideradas perdas. Esta informação servirá como base para realizar o balanceamento do operador, a partir da aplicação da ferramenta *yamazumi board*.

#### 4.1 PROPOSTA DE MELHORIA

Com base nos dados obtidos através do processo de simulação, torna-se possível perceber oportunidades de implementação de melhorias no gerenciamento do processo. Objetivou-se eliminar os pontos de estrangulamento da produção, a sobrecarga de atividades e os desperdícios.

Para isso, foram definidos os tempos padrões e o tempo *takt*. Foram propostos métodos de balanceamento da carga de trabalho através do quadro *yamazumi* e a padronização das operações – ferramenta considerada fundamental para se obter alta produtividade, qualidade e minimização dos desperdícios do sistema.

##### 4.3.1 DEFINIÇÃO DOS TEMPOS

###### 4.3.1.1 Tempo padrão

A partir do levantamento dos tempos normais para as operações que compõem a linha de montagens principais, foram atribuídas margens de tolerância para fatores pessoais, fadiga e espera. Este princípio parte do pressuposto da improbabilidade de que os colaboradores operem sem interrupções ao longo de um turno de trabalho. Para isso, foi utilizada a Equação 2, descrita no item 2.4.1.3 do capítulo 2.

Dessa forma, inicialmente foram definidas as seguintes concessões de tolerâncias a serem acrescentadas aos tempos normais:

- a) Tolerância pessoal: 5%;
- b) Tolerância por fadiga: 5%;
- c) Tolerância por espera: 5%.

Posteriormente, aplicou-se a Equação 2 para cada uma das operações, de acordo com os tempos normais e ainda considerando as tolerâncias. Os tempos padrões resultantes, em segundos, podem ser visualizados na Tabela 3.

Tabela 3: Cálculo do tempo padrão

Operação	Tempo Normal (s)	Tempo Padrão (s)
A	174,2	204,9
B	116,4	137,0
C	50,5	59,4
D	219,4	258,1
E	107,6	126,6
F	19,8	23,3
G	14,3	16,8

**Fonte:** Autora, 2018.

A determinação dos tempos padrões requeridos para a execução das operações influenciam na capacidade produtiva de uma jornada de trabalho e ainda, poderão servir como referência futura para avaliar o desempenho dos postos de trabalho.

#### 4.3.1.2 Tempo *takt*

O tempo *takt* norteia a maneira pela qual o produto em processamento avança através dos processos de um sistema. Ritmos acelerados ocasionam estoques excessivos, ao passo que ritmos mais lentos exigem que os processos sejam executados de forma apressada, gerando perdas, retrabalhos e refugos. Ao determinar o tempo *takt*, objetiva-se alinhar com precisão a produção à demanda, definindo um ritmo ideal ao processo.

A fim de estabelecer o tempo *takt* da linha principal do processo de montagem do equipamento robotizado, foram pressupostas as seguintes informações:

- a) Para a determinação do tempo efetivo foi considerado uma semana de trabalho com 5 dias trabalhados e 44 horas semanais, resultando em 528 minutos por dia. Subtraindo 15% relacionados aos fatores de tolerância, obtém-se um tempo total de 448,8 minutos diários;

- b) Conforme pesquisas divulgadas por Middleton (2018) e pelo IFR, estima-se que de 2019 a 2021 serão vendidas cerca de 740 000 unidades de robôs de serviço. Pesquisas do segmento para o mercado brasileiro revelam que o número de empresas que atuam neste setor ainda é muito baixo. Portanto, para fins deste estudo, considerou-se que serão absorvidos aproximadamente 12% desta demanda, resultando em uma produção diária de 110 unidades pelos próximos três anos.

Com isso, torna-se possível calcular o tempo *takt* para a linha de montagem principal, a partir do emprego da Equação 4, apresenta no item 2.4.1.5 do capítulo 2. Assim, substituindo os valores conhecidos, obtém-se:

$$Takt\ time = \frac{448,8 \times 60\ segundos}{110\ unidades} \approx 245\ segundos$$

Verifica-se, portanto, que a cada 245 segundos uma unidade de produto acabado deve deixar a linha principal.

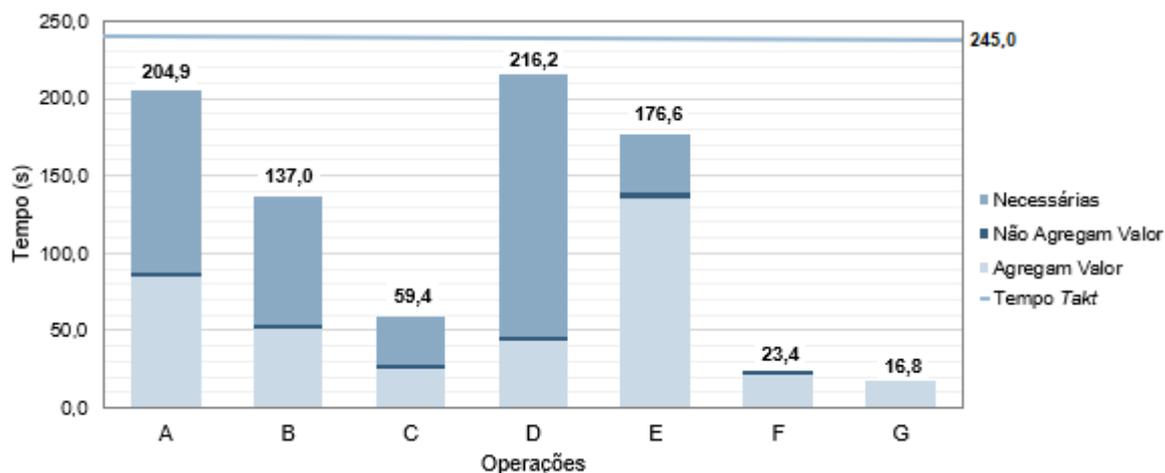
#### 4.3.2 GRÁFICO DE BALANCEAMENTO DO OPERADOR

As observações realizadas na seção de análise de dados demonstram o impacto do desbalanço na linearidade do processo. Verificam-se variações significativas de tempos entre as operações, resultando em etapas de ociosidade e sobrecarga.

Por isso, torna-se fundamental a aplicação de técnicas de gerenciamento para a distribuição dos tempos em cada estágio da linha de montagem. Utilizando a metodologia recomendada pelo *yamazumi board*, elaborou-se uma proposta de balanceamento visando remanejar as atividades que permitem a transferência para outros postos de trabalho, e mantendo aquelas que apresentam características distintas e inviabilizam a unificação.

Em vista disto, o primeiro passo consiste em gerar um novo gráfico de colunas retratando o estado inicial. Devem estar contidos os tempos padrões para a execução dos processos e o tempo *takt*, conforme a Figura 21.

Figura 21: Gráfico de distribuição dos tempos no estado inicial



**Fonte:** Autora, 2018.

Inicialmente busca-se diluir o tempo do gargalo ao propor que as outras operações tenham a máxima ocupação do tempo disponível. A condição ideal, julgada até mesmo utópica, consiste em obter um ciclo no qual todos os estágios apresentem o mesmo tempo de processamento – justamente o tempo *takt*. Sabe-se que esta linearidade é dificilmente atingida, visto que a produção sofre inúmeras influências externas e cada operação demanda de um período de tempo diferente para ser concluída.

Ao analisar as sequências de elementos que compõem cada uma das operações, foi possível perceber que, apesar de apresentar o maior tempo de ciclo, o processo de montagem do componente eletrônico, denominado como “D”, não permite que suas atividades sejam divididas entre os demais estágios. Este fator deve-se principalmente à precisão e complexidade requerida pela atividade.

Por outro lado, as operações “B” e “C”, montagem do conjunto do rodízio e montagem das rodas traseiras, permitem sua unificação devido a semelhança dos procedimentos. Da mesma forma, as operações “F” e “G”, montagem da carenagem e montagem do suporte com visor, também viabilizam sua unificação justificando-se pelo baixo tempo de ciclo apresentado por estas atividades.

Assim, percebe-se que as sete operações iniciais foram agrupadas de forma que apenas cinco postos de montagem fossem necessários. Conseqüentemente, a demanda por sete operadores também foi reduzida para cinco.

Depois de definido o número de postos de montagem para a linha principal, o tempo médio de operação para cada estação foi calculada de acordo com a Equação 3. Obtém-se, portanto:

$$\text{Tempo médio} = \frac{834,3 \text{ segundos}}{5} \approx 167 \text{ segundos}$$

Nota-se que o tempo médio de 167 segundos está dentro do tempo *takt*, de 245 segundos. Contudo, ainda é ocasionada uma folga de 78 segundos. Este tempo é considerado aceitável devido à possíveis variações do processo e da demanda. Em vista disso, foram determinadas as seguintes diretrizes para o balanceamento:

- Unificação das operações “B” e “C”, bem como as operações “F” e “G”, resultando em um total de cinco postos de trabalho;
- O tempo de montagem de cada posto deve ser mantido entre o tempo médio e o tempo *takt* – 167 e 245 segundos, respectivamente;
- Adição de um *check list* de inspeção da qualidade do produto, executado em conjunto com as operações “F” e “G”. Para isso, serão adicionados 180 segundos ao último ciclo da linha principal. O *check list* encontra-se disponível no Apêndice D.

As diretrizes e a unificação das operações já citadas, resultaram em novos tempos padrões para os postos de montagem, conforme apresentado na Tabela 4.

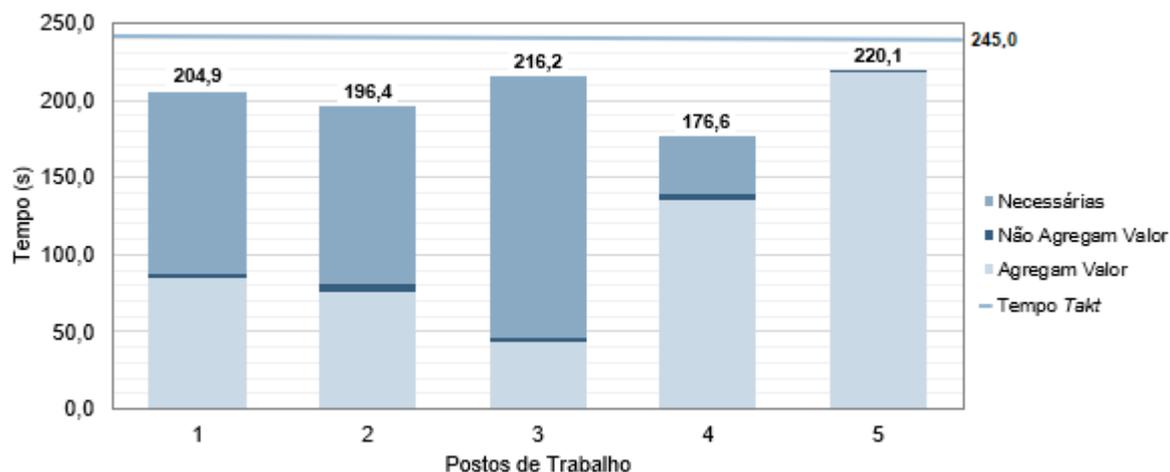
Tabela 4: Nova distribuição dos tempos padrões de montagem

Posto de Montagem	Tempo Normal (s)	Tempo Padrão (s)
1	A	204,9
2	B + C	196,4
3	D	216,2
4	E	176,5
5	F + G + <i>Check list</i>	220,1

**Fonte:** Autora, 2018.

Depois de realizados os estudos de balanceamento das operações, foi possível chegar ao gráfico final de distribuição dos tempos, conforme pode ser visualizado na Figura 22.

Figura 22: Novo gráfico de distribuição dos tempos



**Fonte:** Autora, 2018.

A partir do balanceamento da linha de montagem, torna-se possível perceber que todos os postos de montagem continuam atendendo ao critério de manterem-se abaixo do tempo *takt* e ainda dispõem de uma margem de segurança de 24,1 segundos, se comparado ao novo recurso gargalo, o posto de trabalho 5.

Conforme apresentado na seção bibliográfica, é comum que os gargalos oscilem no processo. A metodologia *lean* prevê que todas os colaboradores operem próximos ao tempo *takt*, com exceção de um. Neste, serão centrados todos os esforços para a eliminação de perdas e incentivos para realização de *kaizens*. No caso desta proposta de balanceamento, nota-se que mesmo exigindo um tempo de ciclo um pouco mais amplo do que os demais, o posto 5 é composto sobretudo por tarefas que agregam valor ao produto e são percebidos pelo cliente.

Observa-se que as principais contribuições da aplicação do balanceamento consistem na eliminação da necessidade de dois operadores e na adequação do tempo de ciclo das operações, eliminando as contrastantes sobrecargas e ociosidades apresentadas inicialmente.

#### 4.3.3 PADRONIZAÇÃO DOS MÉTODOS

Considerado a base para se obter alta produtividade, qualidade e segurança, o trabalho padronizado no *lean manufacturing* é composto por procedimentos que estabelecem os métodos e sequências mais adequadas a cada processo. Com a

padronização, não importa quem esteja executando a tarefa, o resultado final sempre estará de acordo com o especificado.

Neste contexto, baseando-se nas recomendações sugeridas pelo *lean manufacturing*, foram elaborados documentos para padronizar as operações que compõem a linha de montagem principal do equipamento robotizado. Adaptados para a realidade do processo produtivo em questão, a folha de instrução de trabalho, o quadro de capacidade do processo, a tabela de combinação do trabalho padronizado e o diagrama do trabalho padronizado centram seus esforços nos movimentos e no trabalho dos operadores, buscando eliminar os desperdícios e reduzir as variabilidades operacionais.

#### 4.3.4 Folha de instrução de trabalho

Com a determinação dos tempos e da quantidade de operações a serem realizadas na linha de montagem principal, torna-se necessário padronizar as atividades que serão executadas pelos colaboradores em cada estágio de produção.

Para isso, propõem-se a utilização das folhas de instrução de trabalho. Estes documentos destinam-se a indicar as sequências ideais de execução dos elementos de cada atividade, de modo simples e direto, a fim de prover produtos com características uniformes e em conformidade aos padrões estipulados pelo projeto do produto.

Utilizando o modelo proposto por Ferreira (1995), foram empregadas as sequências de movimentos validadas durante o teste piloto, reorganizando-as de acordo com os resultados obtidos pela aplicação do método *yamazumi board*. A Figura 23 ilustra a folha de instrução de trabalho para a operação de montagem dos motores no chassi, determinada como o primeiro posto de trabalho da linha principal.

Figura 23: Folha de instrução de trabalho para o posto 01

FOLHA DE INSTRUÇÃO DE TRABALHO			
<b>Produto</b>	Equipamento Robotizado Versão 1		
<b>Posto</b>	Linha Principal - Posto 01		
<b>Operação</b>	Montagem dos Motores		
<b>Tempo Padrão</b>	204,9 segundos		
			
Controle de Versões			
<b>Preparado em</b>	<b>Revisão</b>	<b>Autor</b>	<b>Próxima Revisão</b>
19/09/2018	001	Joana Butzke	19/09/2019
Materiais e Ferramentas Necessárias			
6 Unidades de Parafusos Sextavados M6X40		1 Chave Combinada Nº 10	
6 Unidades de Buchas de Afastamento Ø6mm		1 Unidade de Chassi	
2 Unidades de Motoredutores MOTRON 210-120			
Elemento	Descrição		
1	Posicionar três parafusos nas furações, ao lado esquerdo do chassi		
2	Posicionar três buchas nos parafusos		
3	Pegar um motor e posicioná-lo verticalmente no chassi, conforme os parafusos		
4	Com a chave combinada, realizar o aperto dos parafusos		
5	Posicionar três parafusos nas furações, ao lado direito do chassi		
6	Posicionar três buchas nos parafusos		
7	Pegar um motor e posicioná-lo verticalmente no chassi, conforme os parafusos		
8	Com a chave combinada, realizar o aperto dos parafusos		
9	Enviar o produto em processamento para o próximo posto		
   			
1 e 5	2 e 6	3 e 7	4 e 8
Resultados Esperados			
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Garantir o alinhamento das rodas;</li> <li>- Montar certo na primeira vez;</li> <li>- Ferramentas dispostas nos locais corretos após o uso.</li> </ul>			

**Fonte:** Autora, 2018.

As demais folhas de instrução de trabalho para as montagens principais podem ser visualizadas no Apêndice E.

Entre as informações apresentadas pela Figura 23, destacam-se:

- a) Cabeçalho para identificação da operação descrita, contendo o modelo do produto a que se refere, posto de trabalho, especificação da operação e tempo padrão para execução da atividade;

- b) Controle de versões, indicando a data de preparação do documento, revisão atual, autor e a data da próxima revisão recomendada;
- c) Materiais e ferramentas necessárias ao cumprimento da operação, bem como as quantidades requeridas;
- d) Descrição precisa da sequência de trabalho a ser executada pelo colaborador para completar a operação de forma eficiente;
- e) Ilustrações dos processos, a fim de proporcionar maior clareza aos procedimentos descritos;
- f) Resultados esperados a partir da execução da operação.

A folha de instrução de trabalho fornece diretrizes essenciais para o estabelecimento e manutenção de uma produção enxuta e do fluxo contínuo. Além de estabelecer especificações rigorosas acerca do conteúdo, tempo, sequência e resultados esperados, propicia a estabilidade da operação.

Ao documentar as melhores práticas atuais, a folha de instrução do trabalho representa a linha de base para a melhoria contínua. À medida em é aprimorado, o novo padrão passa a se tornar a nova linha de base para outras melhorias, e assim sucessivamente. Melhorar o trabalho padronizado é um processo sem fim.

#### 4.3.5 Quadro de capacidade do processo

Usualmente utilizado para calcular a capacidades das máquinas envolvidas em um conjunto de operações, o quadro de capacidade do processo objetiva confirmar a capacidade real dos equipamentos, além de identificar e eliminar os gargalos.

No caso deste estudo, conforme mencionado anteriormente, os processos da linha de montagem principal são compostos por ferramentas simples e de baixo custo que não exigem controles rigorosos sobre sua capacidade. Em vista disso, com o objetivo de viabilizar a aplicação do documento, este foi adaptado de acordo com a necessidade da operação em questão, estabelecendo a capacidade produtiva ao invés da capacidade do processo, conforme ilustrado pela Figura 24.

Figura 24: Quadro de capacidade produtiva

QUADRO DE CAPACIDADE PRODUTIVA						
Produto	Equipamento Robotizado Versão 1					
Linha	Linha Principal					
Posto	Posto 01 ao 05					
Controle de Versões						
Preparado em	Revisão	Autor	Próxima Revisão		Observações	
19/09/2018	001	Joana Butzke	19/09/2019		Criação do documento	
Tipo	Qtd. Produzida/Hora	Horas Trabalhadas	Dias Trabalhados	Perdas Planejadas	Perdas Não Planejadas	Capacidade Produtiva
Capacidade Instalada	12,5	24	30	-	-	9000 robôs/mês
Capacidade Disponível	-	8,8	22	-	-	193,6 horas/mês
Capacidade Efetiva	-	8,8	22	1,32	-	192,28 horas/mês
Capacidade Realizada	-	8,8	22	1,32	0,9	191,38 horas/mês

**Fonte:** Autora, 2018.

Na versão adaptada, o quadro fornece indicadores que possibilitam analisar o fluxo operacional da linha de montagem e entender o quanto se consegue produzir, além de apresentar critérios que auxiliam no dimensionamento dos estoques e na redução dos custos de produção. Estas informações, reunidas em um único documento, facilitam o processo de tomada de decisões.

Para isso, foram consideradas as equações e as recomendações apresentadas no item 2.6, bem como as informações pressupostas para o cálculo do tempo *takt*. Desta forma, para determinar a capacidade instalada, inicialmente a quantidade de itens produzidos diariamente foi dividido por uma jornada de trabalho normal, obtendo a produção por hora. Por se tratar de uma capacidade teórica, são consideradas 24 horas de operação, 30 dias por mês e desconsiderando quaisquer perdas e paradas.

A capacidade disponível, em contrapartida, foi calculada levando em consideração um turno de trabalho de 8,8 horas diárias e 22 dias trabalhados no mês, ainda desconsiderando quaisquer perdas envolvidas. Para a capacidade

efetiva, foram considerados os dados utilizados para calcular a capacidade disponível, subtraindo das horas trabalhadas 15% dos fatores de tolerância já previstos. Por fim, a capacidade realizada consiste no valor resultante da subtração das perdas não planejadas da capacidade efetiva. Para tanto, foram descontados mais 10% das horas trabalhadas.

Verifica-se, portanto, que conhecer o panorama da capacidade da produção permite implementar melhorias, aumentar a competitividade e analisar o impacto na capacidade de atender às demandas futuras.

#### 4.3.6 Tabela de combinação do trabalho padronizado

Como o próprio nome sugere, esta ferramenta é utilizada para indicar a combinação dos tempos de operação dos colaboradores durante o ciclo de trabalho. Sua aplicação é altamente recomendada para trabalhos manuais cíclicos, que se repetem de forma idêntica para os itens produzidos, como no caso de procedimentos de montagem.

Neste contexto, para elaborar a tabela de combinação do trabalho padronizado, a qual encontra-se disponível no Apêndice F, inicialmente foram listados todos os elementos que compõem cada um dos cinco postos da linha principal. Foram relacionados os tempos médios padrões, identificando a duração da operação realizada. Na parte inferior do documento, foi adicionada uma linha contendo o somatório do tempo total necessário para o cumprimento de todas as tarefas.

A tabela de combinação, especificamente, diz respeito a representação gráfica, onde é adicionado o esquema dos tempos levantados para cada um dos elementos descritos. O tempo, ainda é classificado entre trabalho manual, representado a partir de uma linha vertical, e movimentação, representada por uma linha curva. O tempo *takt* foi indicado por uma barra vertical, de cor laranja. A transferência entre um elemento e outro de um mesmo posto de trabalho foi representado por uma linha vertical, conectando as operações.

De forma geral, pode-se dizer que esta ferramenta auxilia a perceber oportunidades de melhorias para melhorar o ciclo de processamento. As movimentações se tornam claramente visíveis, provocando o desenvolvimento de

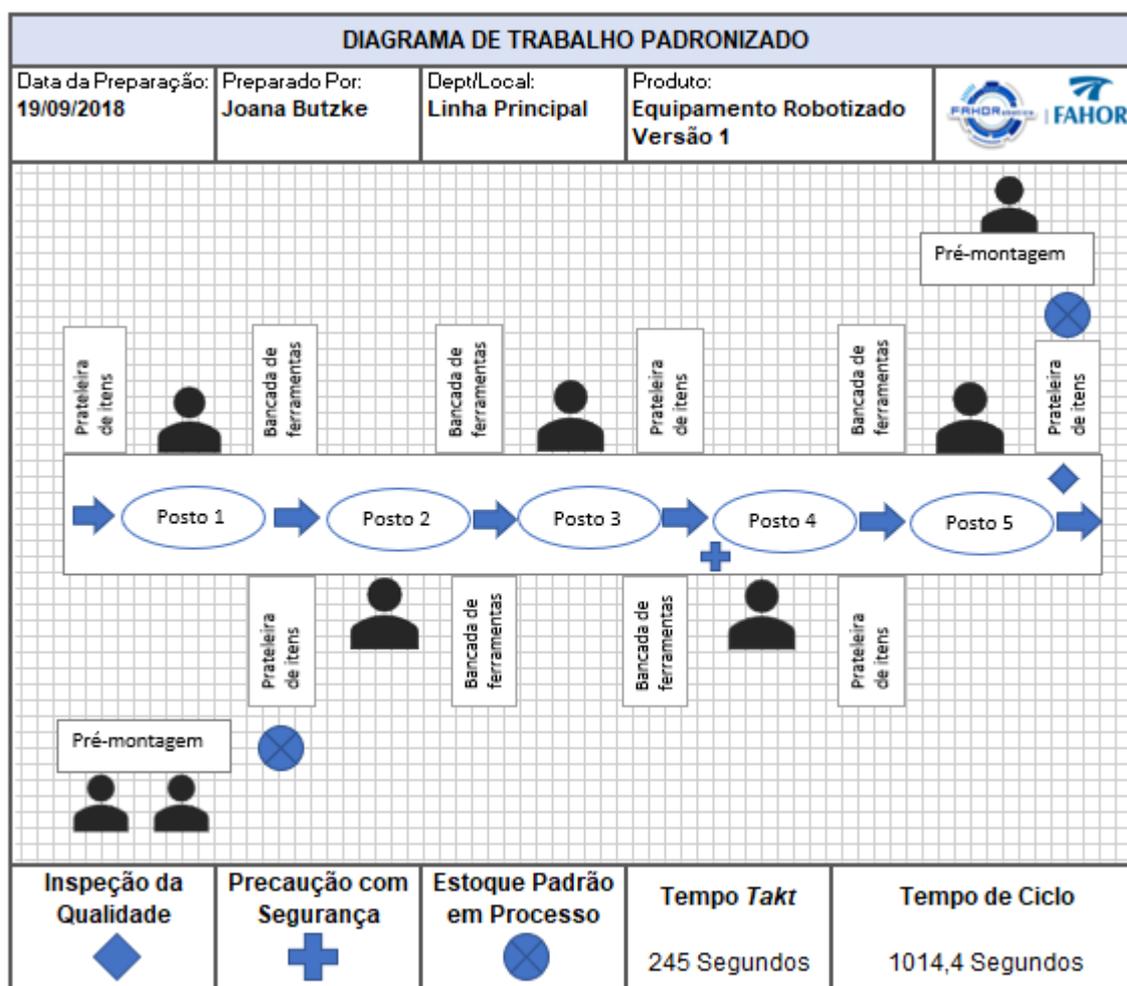
ações que conduzam à eliminação dos desperdícios. Da mesma forma, também garante que as etapas operacionais sejam vistas e otimizadas continuamente.

#### 4.3.7 Diagrama do trabalho padronizado

O diagrama do trabalho padronizado é a última ferramenta recomendada para se estabelecer o trabalho padronizado em uma operação produtiva. Este documento trata-se menos sobre medições de tempos e distâncias, e mais sobre como obter uma visão geral e lógica do processo operacional envolvido.

Assim, para construir este diagrama, foi elaborado um esboço demonstrando de forma clara as etapas do processo e como elas se relacionam umas com as outras, conforme ilustrado pela Figura 25.

Figura 25: Diagrama do trabalho padronizado



Fonte: Autora, 2018.

No diagrama proposto, os cinco operadores que executam os procedimentos de montagem da linha principal encontram-se dispostos em uma mesa de roletas. Para cada operador, há uma prateleira disponível contendo os itens necessários para a montagem do posto, e outra para as ferramentas.

O arranjo dos operadores e dos equipamentos visam o mínimo deslocamento durante as operações, de forma que o produto em processo é enviado ao estágio subsequente sem que estes tenham que se movimentar.

## CONCLUSÃO

O cenário competitivo em que se enquadram as indústrias manufatureiras exige o estabelecimento de parâmetros que assegurem o pleno atendimento às necessidades dos clientes, fornecendo produtos que apresentem os mais elevados níveis de qualidade, aos mais baixos custos e aos menores *lead times*.

Em vista disso, este trabalho foi estruturado a partir da necessidade de implementação de uma metodologia capaz de garantir a consistência dos procedimentos de montagem de um equipamento robotizado e a adequação do protótipo aos padrões esperados. A partir do estudo dos conceitos abordados na revisão de bibliografia, verificou-se a possibilidade de enquadrar esta proposta na metodologia recomendada pelo *lean manufacturing*.

Através da realização de um experimento de simulação das operações que envolvem a linha de montagem principal, foram obtidos dados que serviram como base para a determinação da sequência ideal de execução dos procedimentos, dos tempos e movimentos, para o balanceamento da carga de trabalho dos operadores e para o desenvolvimento de documentos fundamentais para se estabelecer o trabalho padronizado.

A análise dos dados resultou na identificação de oportunidades de melhoria no fluxo do processo. Ao agrupar operações semelhantes, foi possível reduzir o impacto do recurso gargalo na linearidade no sistema produtivo e eliminar a necessidade de dois operadores, considerados inicialmente. Com a folha de instrução de trabalho, foram detalhadas, de forma precisa, sequências de movimentos que asseguram a conformidade do produto e viabilizam uma operação livre de defeitos e de forma estável.

Diante do exposto, pode-se afirmar que os objetivos específicos do trabalho foram atingidos, uma vez que, através das técnicas do *lean manufacturing*, foi proposto um método para os processos da linha principal, considerando a sequência ideal de execução dos procedimentos. A linha de montagem principal foi balanceada e as operações, padronizadas. Igualmente, é possível afirmar que o objetivo geral do trabalho também foi atingido ao propor a sistematização de ferramentas e documentos que constituem a base do trabalho padrão.

Para estudos futuros, tendo em vista a demanda identificada no decorrer deste trabalho, sugere-se analisar a viabilidade de estender o nicho de mercado para outros segmentos, como hospitais, aeroportos, restaurantes e hotéis.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, E. A. C. **O PDCA como ferramenta de gestão da rotina.** 2015. Disponível em: <[http://www.inovarse.org/sites/default/files/T\\_15\\_017M\\_7.pdf](http://www.inovarse.org/sites/default/files/T_15_017M_7.pdf)>. Acesso em 11 nov. 2018.
- AGUIAR, M. C. **Análise de causa raiz: levantamento dos métodos e exemplificação.** 2014. Disponível em:<<https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/23437/23437.pdf>>. Acesso em 20 set. 2018.
- Agência Europeia de Segurança e Saúde no Trabalho. **Análise sobre o futuro do trabalho: robótica.** 2015. Disponível em: <<https://osha.europa.eu/pt/tools-and-publications/publications/future-work-robotics/view>>. Acessado em 12 out. 2018.
- AGUIRRE, L.; PRETZ, E. **Aplicação do sistema toyota de produção na indústria de software: ferramentas do sistema de produção enxuta que podem ser utilizadas ou adequadas aos processos de qualidade de software.** 2011. Disponível em:<[https://www.feevale.br/Comum/midias/7ec88839-ee9e-484f-8f34-72727b1d860/Tecnologia\\_da\\_Informacao.pdf](https://www.feevale.br/Comum/midias/7ec88839-ee9e-484f-8f34-72727b1d860/Tecnologia_da_Informacao.pdf)>. Acesso em 17 set. 2018.
- ALVAREZ, R. dos R.; JR, J. A. V. A. **Takt-Time: conceitos e contextualização dentro do sistema toyota de produção.** p.7, Gestão & Produção, 2001.
- ALBUQUERQUE, T. P. de. **Manufatura enxuta: dificuldades identificadas para implantação em indústrias de manufatura.** 2008. Dissertação (Mestrado em Administração) - Escola de Administração, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2008.
- ARAÚJO, L. E. D. de. **Nivelamento da capacidade de produção utilizando quadros heijunka em sistemas híbridos de coordenação de ordens de produção.** 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.
- BALLÉ, M.; EVESQUE, B. **A casa STP é uma luz orientadora para a empresa que deseja iniciar sua jornada lean.** 2008. Disponível em: <<https://www.lean.org.br/artigos/453/a-casa-stp-e-uma-luz-orientadora-para-a-empresa-que-deseja-iniciar-sua-jornada-lean.aspx>>. Acesso em: 15 ago. 2018.
- BARBOSA, A. F. **Aplicação da metodologia de troca rápida de ferramentas para redução das perdas de produção em indústria gráfica.** 2015. Disponível em:<[http://www.inovarse.org/sites/default/files/T\\_15\\_004M\\_15.pdf](http://www.inovarse.org/sites/default/files/T_15_004M_15.pdf)>. Acesso em: 20 ago. 2018.
- BARNES, R. M. **Estudo de tempos e movimentos: projeto e medida do trabalho.** 6ª ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1977.
- BLATI, A. C.; KELENCY, I. P.; CORDEIRO, R. W. L. **Balanceamento de operações: aplicação da ferramenta de balanceamento de operações em uma linha de produção de bombas de combustíveis.** Dissertação (Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2010.

BORTOLI, H.W. **Aplicação da cronoanálise para melhoria do processo de suprimento da linha de montagem de uma empresa de grande porte do ramo agrícola.** Dissertação (Graduação em Engenharia de Produção) - Faculdade Horizontina, Horizontina, 2013.

CAMPOS, R. et al. **A Ferramenta 5S e suas implicações na gestão da qualidade total.** 2004. Disponível em: <[http://www.simpep.feb.unesp.br/anais/anais\\_12/copiar.php?arquivo=Campos\\_R\\_A%20FERRAMENTA%205S%20E%20SUAS.pdf](http://www.simpep.feb.unesp.br/anais/anais_12/copiar.php?arquivo=Campos_R_A%20FERRAMENTA%205S%20E%20SUAS.pdf)>. Acesso em: 13 set. 2018.

CHIAVENATO, I. **Gestão de materiais: uma abordagem introdutória.** 3ª ed. São Paulo: Manole, 2014.

COSTA, L. **Proposta de estruturação de um modelo de processo de desenvolvimento de produto em uma empresa do setor de reposição de autopeças.** 2007. Disponível em: <[http://www.ufjf.br/ep/files/2014/07/2007\\_1\\_Lucas.pdf](http://www.ufjf.br/ep/files/2014/07/2007_1_Lucas.pdf)>. Acesso em: 13 set. 2018.

COGAN, S. **Aplicação da teoria das restrições nas decisões de longo prazo através da integração com o custeio baseado-em-atividades e com a utilização de um modelo de programação linear mista-inteira.** In: IX CONGRESSO INTERNACIONAL DE CUSTOS. Florianópolis, SC, Brasil, 2005.

CORRÊA, H. L.; GIANESI, I. G. N. **Just in time, MRPII e OPT.** 2ª ed. São Paulo: Atlas, 1993.

CORRÊA, L. H. **A história da administração da produção e operações no século XX.** 2005. Disponível em: <[http://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/3202/P00259\\_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/3202/P00259_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y)>. Acesso em: 7 ago. 2018.

DOTTO, A. R. **Proposta de balanceamento de uma linha de montagem em uma empresa do ramo metal mecânico.** (Graduação em Engenharia Mecânica) - Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade Horizontina, Horizontina, 2016.

ESTEVES, W. L. da Silva. **A aplicação do *lean manufacturing* nas indústrias.** 2014. Disponível em: <[http://www.inovarse.org/sites/default/files/T14\\_0007\\_4.pdf](http://www.inovarse.org/sites/default/files/T14_0007_4.pdf)>. Acesso em: 11 out. 2018.

FERNANDES, A. F. S.; RIBEIRO, J. P.; ALMEIDA, L. F. **Ferramentas da qualidade: Aplicação em uma indústria de embalagens plásticas para redução de quebras nas máquinas extrusoras.** 2016. Disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN\\_STO\\_227\\_328\\_29728.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_227_328_29728.pdf)>. Acesso em: 28 out. 2018.

FERREIRA, P. R. W. **Uma metodologia de implementação e condução da padronização industrial em uma indústria metal-mecânica.** (Mestrado em Engenharia de Produção) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1995.

FERREIRA, F. P. **Análise da implantação de um sistema de manufatura enxuta em uma empresa de autopeças.** Taubaté: UNITAU, 2004. Disponível em: <[http://www.ppga.com.br/mestrado/2004/ferreira-fernando\\_pereira.pdf](http://www.ppga.com.br/mestrado/2004/ferreira-fernando_pereira.pdf)>. Acesso em 10 nov. 2018

FLEURY, P. F. **Vantagens competitivas e estratégias no uso de operadores logísticos.** *Revista Tecnológica*. 1999. São Paulo: v. 5, n. 46, p. 28-35.

FOGLIATTO, F.; FAGUNDES, P. Troca Rápida de Ferramentas: Proposta metodológica e estudo de caso. *Revista Gestão e Produção*, v. 10, n 2, 2003. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/s0104-530x2003000200004>>. Acesso em 18 ago 2018.

FONSECA, G. P.; GUTIERREZ, V. C. P.; SILVA, D. N. **Evolução dos sistemas de produção em uma empresa do ramo de metalúrgica no interior de SP.** [artigo científico]. 2008. Disponível em: <<https://anaiscbc.emnuvens.com.br/anais/article/download/1205/1205>>. Acesso em 7 ago. 2018.

GAITHER, N.; FRAZIER, G. **Administração da produção e operações.** São Paulo: Cengage Learning, 2002.

GALLARDO, C. A. S. **Princípios e ferramentas do *lean thinking* na estabilização na estabilização básica: diretrizes para implantação no processo de fabricação de telhas de concreto pré-fabricadas.** 2007. Disponível em: <[http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/257835/1/SamaniegoGallardo\\_CarlosAntonio.pdf](http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/257835/1/SamaniegoGallardo_CarlosAntonio.pdf)>. Acesso em 5 out. 2018.

GHINATO, P. **Sistema toyota de produção: mais do que simplesmente *just-in-time*.** 2000. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/prod/v5n2/v5n2a04.pdf>>. Acesso em: 19 set. 2018.

GIBBON, A. R. O.; GONÇALVES, T. L.; RODRIGUES, J. M. **Teoria das restrições: um estudo de caso em uma empresa de prestação de serviço de limpeza.** In: Congresso Universidade Federal de Santa Catarina: Controladoria e Finanças e Iniciação Científica. Florianópolis, SC. Anais... Florianópolis: UFSC, 2008.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social.** 6ª ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GOLDRATT, E. M.; COX, J. **A Meta: Um processo de aprimoramento contínuo.** São Paulo: Educator, 2002.

GOMES, F. M. **Planejamento e controle de produção.** 2014. Disponível em: <[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2951297/mod\\_resource/content/1/Cap2%20-%20Capacidade.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2951297/mod_resource/content/1/Cap2%20-%20Capacidade.pdf)> . Acesso em 8 nov. 2018.

GROUT, J. R.; TOUSSAINT, J. S. ***Mistake-proofing healthcare: why stopping processes may be a good start.*** *Business Horizons*. v. 53, n. 2, Abril, 2010.

GUILHOTO, L. F. **O uso da internet como ferramenta para a oferta diferenciada de serviços a clientes corporativos: um estudo exploratório no setor de**

**comunicações.** (Mestrado em Administração) - Faculdade de economia, administração e contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

HINES, P.; TAYLOR, D. **Enxugando a empresa: um guia para implementação.** 1ª ed. São Paulo: Imam, 2008.

HOEFT, S. **Histórias do meu *sensei*.** Porto Alegre: Bookman, 2013.

IMAI, M. **Kaizen: a estratégia para o sucesso competitivo.** 5ª ed. São Paulo: Instituto Imam, 1994.

HUANG, Y. Y.; LI, S. J. **Suitable application situation of different postponement approaches: Standardization vs. Modularization.** 27ª ed. Journal of Manufacturing Systems, 2008.

INVERNIZZI, G. **O sistema *lean* de manufatura aplicado em uma indústria de autopeças produtora de filtros automotivos.** (Pós-graduação em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

IVANOV, S.; WEBSTER, C.; BEREZINA, K. **Adoption of robots and service automation by tourism and hospitality companies.** INVTUR Conference, Aveiro, Portugal, 2017. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/316702026\\_Adoption\\_of\\_robots\\_and\\_service\\_automation\\_by\\_tourism\\_and\\_hospitality\\_companies](https://www.researchgate.net/publication/316702026_Adoption_of_robots_and_service_automation_by_tourism_and_hospitality_companies)>. Acesso em 5 nov. 2018.

JUNIOR, I. M.; ROCHA, A. V.; MOTA, E. B.; QUINTELLA, O. M. **Gestão da qualidade e Processos.** 9ª ed. Editora FGV. 2008. Disponível em: <<https://www.estantevirtual.com.br/livros/isnard-marshall-junior-e-outros/gestao-da-qualidade/2752279571>>. Acesso em 14 set. 2018.

KAMINSKI, P. C. **Desenvolvendo produtos com planejamento, criatividade e qualidade.** 1ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

KOBAYASHI, S. **Renovação da logística: como definir as estratégias de distribuição física global.** São Paulo: Atlas, 2000.

KOSAKA, G. **Fluxo contínuo.** 2009. Disponível em: <<https://www.lean.org.br/artigos/366/fluxo-contínuo.aspx>>. Acesso em: 19 set. 2018.

LEAN ENTERPRISE INSTITUTE. **Standardized work combination table.** 2012. Disponível em: <<https://www.lean.org/common/display/?o=2188>>. Acesso em 1 out. 2018.

LEAN INSTITUTE BRASIL. **Léxico Lean: Glossário ilustrado para praticantes do pensamento *lean*.** 4ª ed. São Paulo: Lean Brasil, 2003.

LIKER, J. K. **O modelo toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo.** 1ª ed. São Paulo: Bookman, 2008.

LIMA, M. P. **Fatores críticos de sucesso para a implantação e manutenção do trabalho padronizado.** (Mestrado em Engenharia Automotiva) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

MACHLINE, C. **A evolução da administração da produção no Brasil.** 1994. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rae/v34n3/a08v34n3.pdf>>. Acesso em 4 ago. 2018.

MIDDLETON, C. **Os robôs estão vindo para atendê-lo - não da maneira que você pensa.** Diginomica, 2018. Disponível em: <<https://diginomica.com/2018/10/22/the-robots-are-coming-to-serve-you-just-not-in-the-way-you-think/>>. Acesso em: 15 out. 2018.

MILLER, T. D.; ELGARD, P. **Defining Modules, Modularity and Modularization - Evolution of Concept in a Historical Perspective.** *Design for Integration in Manufacturing*, 1998.

MOREIRA, D. A. **Administração da produção e operações.** 1ª ed. São Paulo: Pioneira, 2002.

MOURA, R. A. **Kanban: a simplicidade do controle da produção.** 6ª ed. São Paulo: Instituto Imam, 2003.

OLIVEIRA, F. L.; MONTEIRO, H.; FERRARI, V. M. **Aplicação do processo lean manufacturing na cabine de pintura de aeronaves.** 2016. Disponível em: <[http://biblioteca.univap.br/dados/000003/0000039E.L.eMonteiro\\_H..pdf](http://biblioteca.univap.br/dados/000003/0000039E.L.eMonteiro_H..pdf)>. Acesso em 12 Set. 2018.

OHNO, T. **Sistema Toyota de produção além da produção em larga escala.** 1ª ed. Porto Alegre: Bookman, 1997.

PASCAL, D. **Produção lean simplificada.** 2ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2008.

PASQUALINI, F., LOPES, A. O., SIEDENBERG. **Gestão da Produção.** 1ª ed. Ijuí: Unijuí, 2010.

PEINADO, J; GRAEMI, A. R. **Administração da produção, operações industriais e de serviços.** Curitiba: UnicenP, 2007.

PIRES, M. R., STRINGARI, M. A., SILVA, O. **A implementação do lean manufacturing em pequenas empresas.** In: II SEMANA INTERNACIONAL DAS ENGENHARIAS DA FAHOR. 2012.

PIRES, S. R. I.; MUSETTI, M. A.. Logística integrada e gestão da cadeia de suprimentos. **Revista científica: Produtos & Serviços, São Paulo, 312ª ed, p.65, 2000.**

QUEIROZ, G. A. **Recomendações para a implantação da manufatura enxuta considerando os propósitos da produção mais limpa.** 2015. Dissertação

(Mestrado em Engenharia de Produção) - Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

RABELO FILHO, J. C. et al. **Análise do mapeamento aplicado no *lean manufacturing* em uma empresa fabricante de produtos veterinários: estudo de caso.** 2011. Disponível em: <<http://www.fatea.br/seer3/index.php/Janus/article/view/266>>. Acesso em 9 ago. 2018.

REIS, A. L. T. et al. Ciclo PDCA e trilogia de Juran. **Revista Conexão Eletrônica, 14ª ed, pg 990 Três Lagoas, Mato Grosso do Sul, 2017.**

REZENDE, D. M. et al. **Lean manufacturing: redução de desperdícios e a padronização do processo.** 2015. Disponível em: <<https://www.aedb.br/wp-content/uploads/2015/05/104157.pdf>>. Acesso em 26 Set. 2018.

RIVIN, E., **Mechanical design of robots**, 1ª ed. Nova Iorque: McGraw-Hill Inc., 1988.

RODRIGUES, F. S. et al. **5S Como programa de melhoria: proposta de implantação em uma indústria de painéis elétricos.** 2014. Disponível em: <<http://periodicos.pucminas.br/index.php/sinapsemultipla/article/view/6494/6717>>. Acesso em 19 ago 2018.

ROMERO, R. A. F.; et al. **Robótica móvel.** 1ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F. A.; AMARAL, D. C.; et al. **Gestão de Desenvolvimento de Produto: uma referência para a melhoria do processo.** 1ª ed. São Paulo: Saraiva, 2006.

SASSI JÚNIOR, I. A. **Balanceamento de linha: estudo de caso para otimização de recursos em uma linha de produção.** Dissertação (Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2012

SEVERO FILHO, J. **Administração de logística integrada: materiais, pcp e marketing.** 2ª ed. Rio de Janeiro: E-papers, 2006.

SHINGO, S. **O Sistema toyota de produção do ponto de vista da engenharia de produção.** 1ª ed. Porto Alegre: Bookman, 1996.

SILVA, L. H. S. **Abordagem para instalação de poka-yoke em linhas de produção com deficientes auditivos no setor automotivo.** Dissertação (Pós-graduação em Engenharia Mecânica e Materiais), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação.** 3ª ed. Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2001.

SILVA, J. M. da. **5S: O ambiente da qualidade.** 3ª ed. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1994.

SILVEIRA, E. **Value Stream Mapping – Mapeamento da Cadeia de Valor**. 2016. Disponível em: <<http://esioliveir.wixsite.com/edsonsilveira/single-post/2016/12/12/Value-Stream-Mapping-%E2%80%93-Mapeamento-da-Cadeia-de-Valor>>. Acesso em 29 ago. 2018.

SLACK, N. et al. **Administração da produção**. 11ª ed. São Paulo: Atlas, 2007.

SOUTO, M. M. L. S. do. **Engenharia de métodos**. 2016. Disponível em: <<http://princípio.org/universidade-federal-da-paraba-centro-de-tecnologia.html?page=11>>. Acesso em 20 out. 2018.

SOUZA, M. R. de. **Considerações sobre a implementação de princípios de construção enxuta em construtoras de médio porte**. 2010. Monografia (Especialização) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010. Disponível em: <[http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUOS-9A5GDH/20110117\\_\\_\\_mono\\_ufmg.pdf?sequence=1](http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUOS-9A5GDH/20110117___mono_ufmg.pdf?sequence=1)>. Acesso em: 13 ago. 2018.

TAPPING, D.; SHUKER, T. **Lean Office: gerenciamento do fluxo de valor para áreas administrativas – 8 passos para planejar, mapear e sustentar melhorias lean nas áreas administrativas**. 1ª ed. São Paulo: Leopardo, 2010.

THOMAS, J. R.; NELSON J.K. **Métodos de pesquisa em atividade física**. 3ª ed. Porto Alegre: Artemed, 2002.

TUBINO, D. F. **Manual de Planejamento e Controle da Produção**. São Paulo: Atlas, 2000.

UHLMANN, E. **Desenvolvimento dos componentes de movimentação de um robô**. Dissertação (Graduação em Engenharia Mecânica) - Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade Horizontina, Horizontina, 2017.

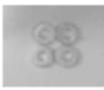
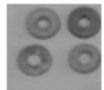
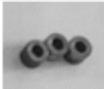
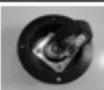
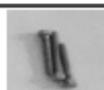
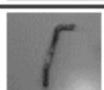
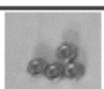
WOMACK, J. P; JONES, D. T. **A mentalidade enxuta nas empresas lean thinking**. 7ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

WOMACK, J. P.; JONES, D.T.; ROOS, D. **A máquina que mudou o mundo**. 13ª ed. Rio de Janeiro: Campus, 1992.

WOOD JUNIOR, T.; ZUFFO, P. K. *Supply Chain Management*, **RAE - Revista de Administração de Empresas São Paulo**, v. 38, n. 3, p. 55-63. 1998. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rae/v38n3/a07v38n3.pdf>>. Acesso em 10 nov. 2018.

WOOD, T. J. **Fordismo, toyotismo e volvismo: os caminhos da indústria em busca do tempo perdido**. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rae/v32n4/a02v32n4.pdf>>. Acesso em 9 ago. 2018.

## APÊNDICE A – ELEMENTOS DA ESTRUTURA DO ROBÔ

Imagem	Item	Qtidade
	Arruela Lisa Aba Curta M6	6
	Arruela Lisa Aba Larga M6	4
	Bateria	1
	Buchas de Afastamento	6
	Carenagem	1
	Conjunto do Rodízio	1
	Conjunto Eletônico	1
	Estrutura de Aço Carbono (Chassi)	1
	Conjunto das Rodas Traseiras	2
	Motoredutor MOTRON MR 210-120	2
	Parafuso Fenda M6X25	4
	Parafuso Sextavado M6x40	6
	Pino-Trava	2
	Porca Flangeada M6	2
	Porca Sextavada M6	8
	Suporte com Visor	1

## APÊNDICE B – SEQUÊNCIAS DE MOVIMENTOS

### Operação B: Montagem do conjunto do rodízio

Elementos	Descrição
1	Inserir as arruelas nos parafusos
2	Inserir o conjunto do rodízio pré montado no encaixe do chassi
3	Inserir os parafusos de baixo para cima nas furações do conjunto do rodízio
4	Inserir as porcas nos parafusos
5	Com a chave combinada, segurar a porca, travando-a, até concluir a operação 6
6	Com a chave de fenda, realizar o aperto dos parafusos
7	Enviar o conjunto para o próximo posto
Materiais e Ferramentas	
4 Unidades de Parafusos Fenda M6X25	4 Unidades de Porcas Sextavadas M6
4 Unidades de Arruelas Lisas Aba Curta	1 Conjunto do Rodízio
1 Chave de Fenda Média	
1 Chave Combinada Nº 8	

### Operação C: Montagem do conjunto das rodas traseiras

Elementos	Descrição
1	Posicionar o conjunto das rodas traseiras no eixo do motor, ao lado esquerdo
2	Pegar o pino-trava e encaixá-lo na furação do conjunto das rodas traseiras
3	Usar o alicate para dobrar o pino-trava
4	Posicionar o conjunto das rodas traseiras no eixo do motor, ao lado direito
5	Pegar o pino-trava e encaixá-lo na furação do conjunto das rodas traseiras
6	Usar o alicate para dobrar o pino-trava
7	Enviar o conjunto para o próximo posto
8	Enviar o produto em processamento para o próximo posto
Materiais e Ferramentas	
2 Unidades de Pinos-Trava	
2 Conjuntos das Rodas Traseiras	
1 Alicate Universal	

## APÊNDICE B - SEQUÊNCIAS DE MOVIMENTOS (CONTINUAÇÃO)

### Operação D: Montagem do componente eletrônico

Elementos	Descrição
1	Posicionar quatro arruelas em quatro parafusos
2	Posicionar os parafusos de baixo para cima, nas furações do chassi
3	Posicionar o componente eletrônico nos parafusos
4	Com a chave canhão, montar as porcas nos parafusos
5	Pegar a chave de fenda e realizar o aperto, enquanto trava a porca com a chave canhão
6	Enviar para o produto em processo para o próximo posto
Materiais e Ferramentas	
4 Unidades de Arruelas Lisas Aba Larga M5	1 Chave de Fenda Média
4 Unidades de Parafusos Fenda M5X20	
1 Unidade de Componente Eletrônico	
1 Chave Canhão N° 7	

### Operação E: Montagem da bateria

Elementos	Descrição
1	Posicionar a bateria no suporte
2	Conectar os chicotes elétricos nos motores, sendo A para o motor direito e B para o esquerdo
3	Conectar os chicotes elétricos na bateria, sendo cabo vermelho no polo positivo e azul no negativo
4	Travar as conexões da bateria com as porcas M6, utilizando uma chave combinada N° 10
5	Enviar para o produto em processo para o próximo posto
Materiais e Ferramentas	
1 Unidade de Bateria Estacionária P5 1080	
2 Unidades de Porcas Flangeadas M6	
1 Chave Combinada N° 10	

### Operação F: Montagem da carenagem

Elementos	Descrição
1	Encaixar a carenagem no chassi
2	Enviar para o produto em processo para o próximo posto
Materiais e Ferramentas	
1 Unidade de Carenagem	

**APÊNDICE B - SEQUÊNCIAS DE MOVIMENTOS (CONTINUAÇÃO)**

Operação G: Montagem do suporte com visor

<b>Elementos</b>	<b>Descrição</b>
<b>1</b>	Encaixar o suporte com visor nas furações do chassi
<b>2</b>	Enviar para o estoque de produtos acabados
<b>Materiais e Ferramentas</b>	
1 Unidade de Suporte com Visor	

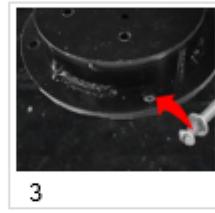
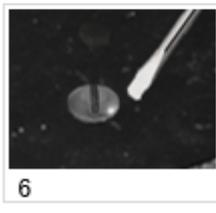
## APÊNDICE C – REGISTRO DOS TEMPOS DE PROCESSAMENTO

Elementos de Trabalho	Medições (segundos)							Tempo Máximo	Tempo Mínimo	Tempo Médio
	1	2	3	4	5	6	7			
<b>OPERAÇÃO A</b>										
Elemento 1	12,6	13,0	15,0	12,5	14,0	15,0	13,3	15,0	12,5	13,6
Elemento 2	13,2	13,7	26,0	13,4	19,9	30,0	16,6	30,0	13,2	19,0
Elemento 3	18,8	21,0	30,0	20,0	25,5	20,0	22,8	30,0	18,8	22,6
Elemento 4	34,0	38,0	40,0	40,0	42,0	43,0	36,0	43,0	34,0	39,0
Elemento 5	10,0	10,3	13,0	10,2	11,0	12,0	10,6	13,0	10,0	11,0
Elemento 6	11,3	12,0	15,0	11,5	12,0	15,0	11,8	15,0	11,3	12,7
Elemento 7	17,1	19,9	25,0	18,5	22,5	23,0	20,5	25,0	17,1	20,9
Elemento 8	30,4	33,0	38,0	31,5	31,0	37,0	31,3	38,0	30,4	33,2
Elemento 9	2,0	2,5	2,0	2,3	2,3	3,0	2,3	3,0	2,0	2,3
<b>Total</b>	<b>149,4</b>	<b>163,4</b>	<b>204,0</b>	<b>159,7</b>	<b>180,1</b>	<b>198,0</b>	<b>164,9</b>	<b>204,0</b>	<b>149,4</b>	<b>174,2</b>
<b>OPERAÇÃO B</b>										
Elemento 1	25,0	23,0	29,0	25,7	25,9	26,9	23,0	29,0	23,0	25,5
Elemento 2	8,0	7,0	12,0	9,0	9,3	10,1	5,0	12,0	5,0	8,6
Elemento 3	13,0	13,0	29,0	18,3	11,0	19,4	14,0	29,0	11,0	16,8
Elemento 4	20,0	18,0	22,0	20,0	20,0	20,7	20,2	22,0	18,0	20,1
Elemento 5	8,0	9,2	9,8	9,0	9,3	9,4	9,2	9,8	8,0	9,1
Elemento 6	33,0	31,0	43,0	35,7	30,0	36,2	29,0	43,0	29,0	34,0
Elemento 7	2,0	2,3	3,0	2,2	2,0	2,0	2,0	3,0	2,0	2,2
<b>Total</b>	<b>109,0</b>	<b>103,5</b>	<b>147,8</b>	<b>119,9</b>	<b>107,6</b>	<b>124,7</b>	<b>102,5</b>	<b>147,8</b>	<b>102,5</b>	<b>116,4</b>
<b>OPERAÇÃO C</b>										
Elemento 1	13,0	15,0	17,0	12,0	12,6	14,0	14,0	17,0	12,0	13,9
Elemento 2	3,0	4,0	3,2	4,0	4,1	5,2	2,9	5,2	2,9	3,8
Elemento 3	7,0	7,0	7,1	6,0	5,0	5,2	6,0	7,1	5,0	6,2
Elemento 4	16,0	14,0	15,9	14,5	13,3	14,2	15,0	16,0	13,3	14,7
Elemento 5	4,0	4,2	5,2	4,0	4,5	5,1	2,5	5,2	2,5	4,2
Elemento 6	6,0	5,9	6,6	4,0	3,8	5,0	5,0	6,6	3,8	5,2
Elemento 7	2,4	2,3	3,0	2,6	2,6	2,7	2,0	3,0	2,0	2,5
<b>Total</b>	<b>51,4</b>	<b>52,4</b>	<b>58,0</b>	<b>47,1</b>	<b>45,9</b>	<b>51,4</b>	<b>47,4</b>	<b>58,0</b>	<b>45,9</b>	<b>50,5</b>
<b>OPERAÇÃO D</b>										
Elemento 1	17,0	15,0	32,0	23,0	26,0	30,0	20,0	32,0	15,0	23,3
Elemento 2	26,0	35,0	42,0	27,0	36,0	37,0	29,0	42,0	26,0	33,1
Elemento 3	40,0	46,0	55,0	48,0	53,0	60,0	46,0	60,0	40,0	49,7
Elemento 4	38,0	40,0	47,0	38,0	30,0	42,0	37,0	47,0	30,0	38,9
Elemento 5	35,0	38,0	43,0	35,0	39,0	35,0	29,0	43,0	29,0	36,3
Elemento 6	2,0	2,0	3,0	2,0	3,1	3,0	2,5	3,1	2,0	2,5
<b>Total</b>	<b>158,0</b>	<b>176,0</b>	<b>222,0</b>	<b>173,0</b>	<b>187,1</b>	<b>207,0</b>	<b>163,5</b>	<b>222,0</b>	<b>158,0</b>	<b>183,8</b>
<b>OPERAÇÃO E</b>										
Elemento 1	27,8	32,1	34,0	29,2	33,7	31,9	34,3	34,3	27,8	31,9
Elemento 2	30,9	34,2	33,7	31,3	35,9	35,2	33,2	35,9	30,9	33,5
Elemento 3	32,4	38,6	33,2	24,9	32,1	29,4	37,2	38,6	24,9	32,5
Elemento 4	47,8	54,2	43,2	42,8	54,6	56,2	45,0	56,2	42,8	49,1
Elemento 5	3,1	3,9	3,2	3,0	2,2	3,5	3,1	3,9	2,2	3,1
<b>Total</b>	<b>142,0</b>	<b>163,0</b>	<b>147,3</b>	<b>131,2</b>	<b>158,5</b>	<b>156,2</b>	<b>152,8</b>	<b>163,0</b>	<b>131,2</b>	<b>150,1</b>
<b>OPERAÇÃO F</b>										
Elemento 1	16,0	20,0	22,0	14,0	18,0	21,0	14,0	22,0	14,0	17,9
Elemento 2	1,5	2,0	2,1	2,0	2,0	2,3	1,9	2,3	1,5	2,0
<b>Total</b>	<b>17,5</b>	<b>22,0</b>	<b>24,1</b>	<b>16,0</b>	<b>20,0</b>	<b>23,3</b>	<b>15,9</b>	<b>24,1</b>	<b>15,9</b>	<b>19,9</b>
<b>OPERAÇÃO G</b>										
Elemento 1	10,0	15,0	20,0	13,0	14,0	17,0	11,0	20,0	10,0	14,3
<b>Total</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>20</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>17</b>	<b>11</b>	<b>20</b>	<b>10</b>	<b>14,3</b>

## APÊNDICE D – CHECK LIST TESTE FUNCIONAL

CHECK LIST TESTE FUNCIONAL			
<b>Produto</b>	Equipamento Robotizado Versão 1		
<b>Posto</b>	Linha Principal - Posto 05		
<b>Nº de Série</b>			
Controle de Versões			
<b>Preparado em</b>	<b>Revisão</b>	<b>Autor</b>	<b>Próxima Revisão</b>
19/09/2018	001	Joana Butzke	19/09/2019
Descrição	Ok	Não Ok	Observações
Ligar equipamento robotizado			
Acionar roda direita no sentido avante			
Acionar roda direita no sentido reverso			
Acionar roda esquerda no sentido avante			
Acionar roda esquerda no sentido reverso			
Acionar ambas as rodas no sentido avante			
Acionar ambas as rodas no sentido reverso			
Ligar visor			
Checar conexão de rede			
Desligar visor			
Desligar equipamento robotizado			
<b>Caso algum dos itens acima demonstrar anomalias, enviar para retrabalho</b>			

## APÊNDICE E – FOLHA DE INSTRUÇÃO DE TRABALHO

FOLHA DE INSTRUÇÃO DE TRABALHO			
<b>Produto</b>	Equipamento Robotizado Versão 1		
<b>Posto</b>	Linha Principal - Posto 02		
<b>Operação</b>	Montagem dos Conjuntos do Rodízio e Rodas Traseiras		
<b>Tempo Padrão</b>	196,4 Segundos		
Controle de Versões			
<b>Preparado em</b>	<b>Revisão</b>	<b>Autor</b>	<b>Próxima Revisão</b>
19/09/2018	001	Joana Butzke	19/09/2019
Materiais e Ferramentas Necessárias			
4 Unidades de Parafusos Fenda M6X25		1 Chave de Fenda Média	
4 Unidades de Arruelas Lisas Aba Curta M6		1 Chave Combinada Nº 10	
1 Conjunto do Rodízio Giratório		2 Pinos-trava	
1 Alicate Universal		2 Conjunto Roda Traseira	
1 Unidade de Chassi		4 Unidades de Porcas Sextavadas M6	
Elemento	Descrição		
1	Inserir as arruelas nos parafusos		
2	Inserir o conjunto do rodízio pré montado no encaixe do chassi		
3	Inserir os parafusos de baixo para cima nas furações do conjunto do rodízio		
4	Inserir as porcas nos parafusos		
5	Com a chave combinada, segurar a porca, travando-a, até concluir a operação 6		
6	Com a chave de fenda, realizar o aperto dos parafusos		
7	Posicionar o conjunto das rodas traseiras no eixo do motor, ao lado esquerdo		
8	Pegar o pino-trava e encaixá-lo na furação do conjunto das rodas traseiras		
9	Usar o alicate para dobrar o pino-trava		
10	Posicionar o conjunto das rodas traseiras no eixo do motor, ao lado direito		
11	Pegar o pino-trava e encaixá-lo na furação do conjunto das rodas traseiras		
12	Usar o alicate para dobrar o pino-trava		
13	Enviar o conjunto para o próximo posto		
			
1	2	3	4
			
5	6	7 e 10	9, 10, 11 e 12
Resultados Esperados			
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Conjunto montado corretamente, de forma a garantir mobilidade adequada ao equipamento;</li> <li>- Ferramentas dispostas nos locais corretos após o uso;</li> <li>- Montar certo na primeira vez.</li> </ul>			

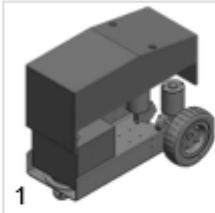
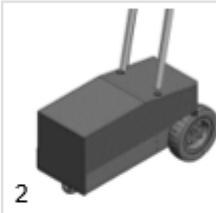
## APÊNDICE E – FOLHA DE INSTRUÇÃO DE TRABALHO (CONTINUAÇÃO)

FOLHA DE INSTRUÇÃO DE TRABALHO			
<b>Produto</b>	Equipamento Robotizado Versão 1		
<b>Posto</b>	Linha Principal - Posto 3		
<b>Operação</b>	Montagem do Componente Eletrônico		
<b>Tempo Padrão</b>	216,2 Segundos		
Controle de Versões			
<b>Preparado em</b>	<b>Revisão</b>	<b>Autor</b>	<b>Próxima Revisão</b>
19/09/2018	001	Joana Butzke	19/09/2018
Materiais e Ferramentas Necessárias			
4 Unidades de Porcas Sextavadas M5		4 Unidades de Arruelas Lisas Aba Larga M5	
1 Unidade de Componente Eletrônico		4 Unidades de Parafusos Fenda M5X20	
1 Chave Combinada Nº 10		1 Chave de Fenda Média	
1 Chave Canhão Nº 7			
Elemento	Descrição		
1	Posicionar quatro arruelas em quatro parafusos		
2	Posicionar os parafusos de baixo para cima, nas furações do chassi		
3	Posicionar o componente eletrônico nos parafusos		
4	Com a chave canhão, montar as porcas nos parafusos		
5	Pegar a chave de fenda e realizar o aperto, enquanto trava a porca com a chave canhão		
6	Enviar para o produto em processo para o próximo posto		
			
Resultados Esperados			
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Garantir a transmissão de energia elétrica e a comunicação entre os componentes;</li> <li>- Ferramentas dispostas nos locais corretos após o uso;</li> <li>- Montar certo na primeira vez.</li> </ul>			

## APÊNDICE E – FOLHA DE INSTRUÇÃO DE TRABALHO (CONTINUAÇÃO)

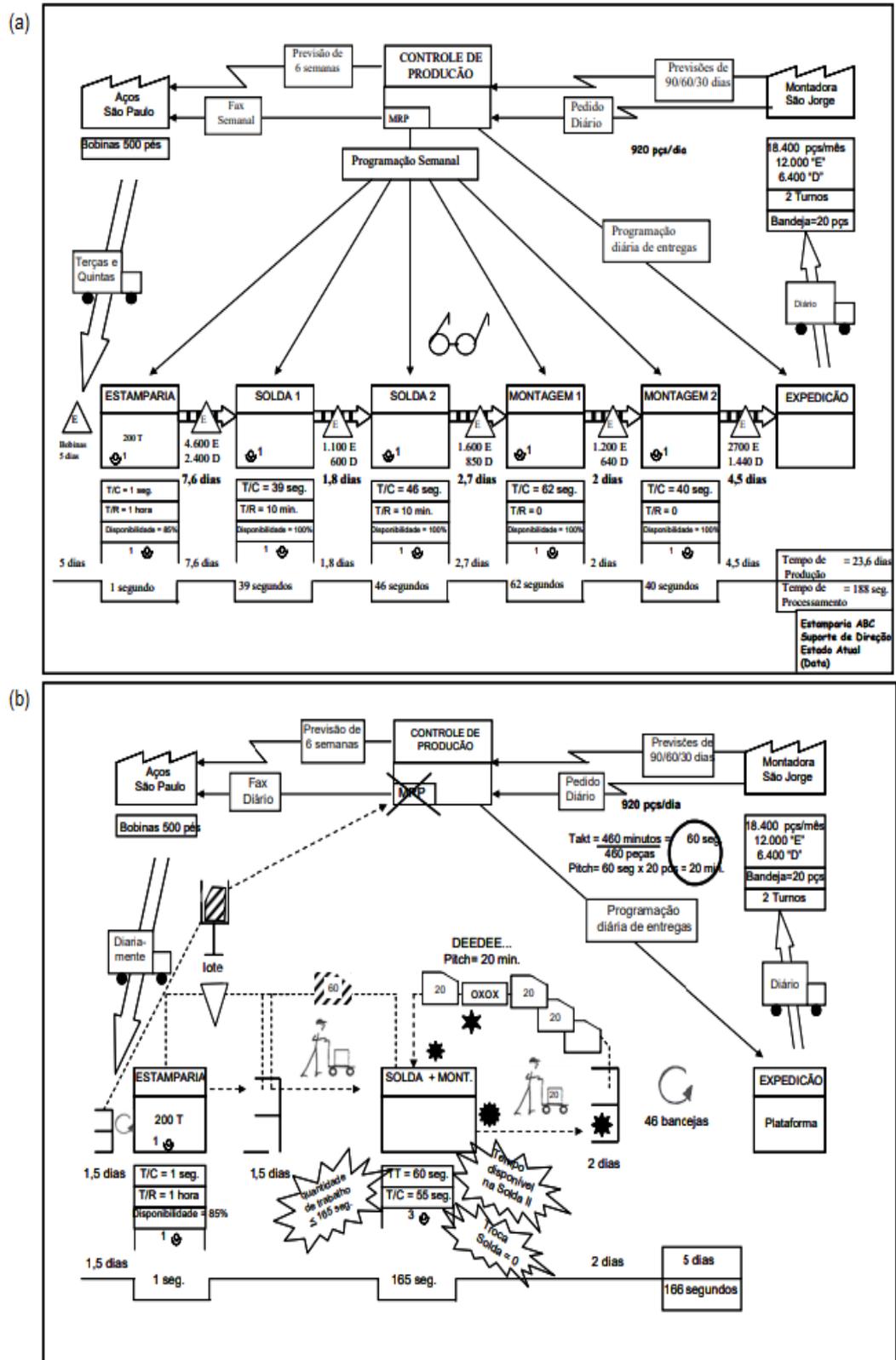
FOLHA DE INSTRUÇÃO DE TRABALHO			
<b>Produto</b>	Equipamento Robotizado Versão 1		
<b>Posto</b>	Linha Principal - Posto 4		
<b>Operação</b>	Montagem da Bateria		
<b>Tempo Padrão</b>	176,5 Segundos		
Controle de Versões			
<b>Preparado em</b>	<b>Revisão</b>	<b>Autor</b>	<b>Próxima Revisão</b>
19/09/2018	001	Joana Butzke	19/09/2018
Materiais e Ferramentas Necessárias			
1 Unidade de Bateria Estacionária P5 1080		1 Chave Combinada N° 10	
2 Unidades de Porcas Flangeadas M6			
Elemento	Descrição		
1	Posicionar a bateria no suporte		
2	Conectar os chicotes elétricos nos motores, sendo A para o motor direito e B para o esquerdo		
3	Conectar os chicotes elétricos na bateria, sendo cabo vermelho no polo positivo e azul no negativo		
4	Travar as conexões da bateria com as porcas M6, utilizando uma chave combinada N° 10		
5	Enviar para o produto em processo para o próximo posto		
 1	 2	 3 e 4	
Resultados Esperados			
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Garantir a transmissão de energia elétrica e a comunicação entre os componentes;</li> <li>- Ferramentas dispostas nos locais corretos após o uso;</li> <li>- Montar certo na primeira vez.</li> </ul>			

## APÊNDICE E - FOLHA DE INSTRUÇÃO DE TRABALHO (CONTINUAÇÃO)

FOLHA DE INSTRUÇÃO DE TRABALHO			
<b>Produto</b>	Equipamento Robotizado Versão 1		
<b>Posto</b>	Linha Principal - Posto 5		
<b>Operação</b>	Montagem da Carenagem, Suporte com Visor e <i>Check List</i>		
<b>Tempo Padrão</b>	220,1 Segundos		
Controle de Versões			
<b>Preparado em</b>	<b>Revisão</b>	<b>Autor</b>	<b>Próxima Revisão</b>
20/10/2018	001	Joana Butzke	20/10/2018
Materiais e Ferramentas Necessárias			
1 Unidade de Carenagem		Check list teste funcional	
1 Unidade de Suporte com visor			
Elemento	Descrição		
1	Encaixar a carenagem no chassi		
2	Encaixar o suporte com visor nas furações do chassi		
3	Realizar <i>check list</i> teste funcional		
4	Enviar para o estoque de produtos acabados		
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>1</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>2</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>3</p> </div> </div>			
Resultados Esperados			
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vedação contra elementos externos;</li> <li>- Ferramentas dispostas nos locais corretos após o uso;</li> <li>- Montar certo na primeira vez.</li> </ul>			



## ANEXO A – EXEMPLO DE APLICAÇÃO DO VSM



Fonte: Adaptado de Rother e Shook apud Silveira, 2006.

## ANEXO B – TABELA DE COMBINAÇÃO DO TRABALHO PADRONIZADO

Standardized Work Combination Table		From: <i>Get work piece</i>		Date: <i>April 16, 2007</i>	Required Units per Shift: <i>550</i>																									
		To: <i>Place finished unit in container</i>		Area: <i>Assembly Cell #2</i>	Takt Time: <i>49 s</i>																									
Work Elements	Time(sec.)			Seconds																										
	Hand	Auto	Walk	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100							
1	<i>Get circuit board and place in cutter</i>	<b>3</b>	<b>17</b>	<b>1</b>																										
2	<i>Get lower case</i>	<b>2</b>																												
3	<i>Put circuit into case</i>	<b>4</b>																												
4	<i>Get pin &amp; put into case</i>	<b>4</b>																												
5	<i>Start machine cycle</i>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>2</b>																										
6	<i>Get finished piece</i>	<b>1</b>																												
7	<i>Get upper case &amp; put into finished piece</i>	<b>3</b>																												
8	<i>Place into deposit machine &amp; start</i>	<b>3</b>	<b>10</b>	<b>1</b>																										
9	<i>Get &amp; check a piece</i>	<b>8</b>																												
10	<i>Put into tester &amp; start</i>	<b>2</b>	<b>5</b>																											
11	<i>Check appearance</i>	<b>5</b>																												
12	<i>Put into vinyl bag</i>	<b>3</b>																												
13	<i>Place finished unit in container</i>	<b>2</b>		<b>4</b>																										
Totals		<b>41</b>	<b>0</b>	<b>8</b>																										
		<b>49</b>			Seconds																									

Fonte: Lean Enterprise Institute, 2012.