UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

VINICIUS GABRIEL PINTO DE SOUZA

A MANUFATURA ENXUTA PARA A MELHORIA DA MOVIMENTAÇÃO DE MATERIAIS EM UMA FÁBRICA DE PEÇAS AUTOMOTIVAS

JUIZ DE FORA
2018

VINICIUS GABRIEL PINTO DE SOUZA

A MANUFATURA ENXUTA PARA A MELHORIA DA MOVIMENTAÇÃO DE MATERIAIS EM UMA FÁBRICA DE PEÇAS AUTOMOTIVAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Orientador: Prof. D. Sc. Eduardo Breviglieri Pereira de Castro

JUIZ DE FORA

2018

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de geração
automática da Biblioteca Universitária da UFJF,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Pinto de Souza, Vinicius Gabriel.
A MANUFATURA ENXUTA PARA A MELHORIA DA MOVIMENTAÇÃO DE MATERIAIS EM UMA FÁBRICA DE PEÇAS AUTOMOTIVAS / Vinicius Gabriel Pinto de Souza. -- 2018.
69 p.

Orientador: Eduardo Breviglieri Pereira de Castro
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia, 2018.

1. Produção enxuta. 2. movimentação de materiais. 3. manufatura celular. I. Breviglieri Pereira de Castro, Eduardo , orient. II. Título.

Vinicius Gabriel Pinto de Souza

A MANUFATURA ENXUTA PARA A MELHORIA DA MOVIMENTAÇÃO DE MATERIAIS EM UMA FÁBRICA DE PEÇAS AUTOMOTIVAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Aprovada em 19 de junho de 2018.

BANCA EXAMINADORA

_____

D. Sc. Eduardo Breviglieri Pereira De Castro (Orientador)
Universidade Federal de Juiz de Fora

_____

D. Sc. Clarice Breviglieri Porto
Universidade Federal de Juiz de Fora

_____

D. Sc. Roberto Malheiros Moreira Filho
Universidade Federal de Juiz de Fora

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família pela constante valorização da educação e cultura, mostrando a necessidade do aprendizado de línguas estrangeiras desde jovem, garantindo experiência acadêmica e profissional no exterior que possibilitou este trabalho. Ao meu irmão que sempre me apoiou e à Mathilde, que me ensina a perseverar.

Ao professor Eduardo Castro pela confiança e os ensinamentos que transcenderam esse trabalho de conclusão de curso, ao professor Bruno Milanez pelo respeito e cordialidade contínua mesmo com opiniões opostas, e ao professor Rugeri Mansur por ter me ensinado de maneira excepcional as bases da matemática e da física.

Aos meus amigos que sempre me apoiaram ao longo do curso, em especial Fernando Antônio, que esteve comigo desde o primeiro dia, aos amigos do grupo Wololo e aos amigos da SEEPRO, instituição que tive a honra de auxiliar em seu crescimento.

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo de caso de um projeto de melhoria baseado em conceitos desenvolvidos pelo Sistema Toyota de Produção em um setor de uma fábrica de peças automotivas. Conceitos fundamentais dessa filosofia são estudados no início deste trabalho. Entre estes conceitos, encontram-se explicações sobre a origem desse sistema (discutida tanto sob a visão de seus criadores no Japão quanto por estudiosos da área), seu foco contínuo em redução de desperdícios e custos, e as rupturas e diferenças dos sistemas tradicionais ocidentais. O estudo de caso detalhou as ações tomadas em cada uma das quatro etapas do projeto, que foi baseado no ciclo de melhoria PDCA (do inglês *Plan, Do, Check, Act*) – planejamento (com uma análise do histórico e da situação atual, causa raiz e definição do objetivo do projeto), execução (medidas tomadas perante ao identificado no planejamento), verificação (a análise de viabilidade do que foi proposto na execução feita em software de simulação) e ajustes (sugestões para o início do próximo ciclo de melhoria). Dentre os resultados, verificou-se a criação de uma documentação e padronização do trabalho realizado, criando uma base referencial para melhorias futuras e auxílio de decisões gerenciais, além de ter possibilitado corte de custos através de uma alocação mais racional de funcionários.

Palavras-chave: Produção enxuta, movimentação de materiais, manufatura celular

ABSTRACT

This paper presents a case study about an improvement project based on concepts created by Toyota Production System inside an auto parts factory. Important concepts of this philosophy are seen in the beginning of this paper. Among these concepts are included explanations about their origins (discussed both form the points of view of the creators and academics), their focus on continuous waste and cost reduction, and the differences that can be noticed when compared to the traditional western systems. The case study details what was performed in each of the four steps of the PDCA (plan, do, check, act) cycle – plan (featuring a breakdown of historical and current situation), do (countermeasures taken given what was discovered in the former phase), check (a feasibility analysis on what was proposed in the former phase using simulation software) and adjustments (suggestions for the next improvement cycle). Among the results, the creation of an improvement baseline was verified, made possible through the documentation and standardization generated by the study, giving also the possibility of cost reduction through a more rational labor allocation.

Keywords: Lean Manufacturing, material handling, cellular manufacturing

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Modelo de relatório A3. 22
Figura 2: Exemplo de análise de causa – 5 Por quês 23
Figura 3: Exemplo de análise de causa - Diagrama de Ishikawa 24
Figura 4: Sistema *Andon* clássico 26
Figura 5: Exemplo de monitor *Andon*, mostrando variáveis relacionadas a OEE 26
Figura 6: Relação de arranjos físicos para diferentes volumes e variedades. 28
Figura 7: Célula em formato de U. 29
Figura 8: Diagrama dos conceitos relativos à movimentação de materiais 30
Figura 9: As etapas do ciclo 5S segundo Liker. 31
Figura 10: Exemplo de módulo BCM 36
Figura 11: Etapas do processo produtivo na Empresa X 37
Figura 12: *Layout* da planta, com células estudadas destacadas 38
Figura 13: *Layout* da planta, com o fluxo de interesse destacado 38
Figura 14: Fluxo de produção intra-celular 39
Figura 15: Esquema de produção na célula AC 40
Figura 16: O ciclo de melhoria PDCA em modelo A3 41
Figura 17: Modelo de rack usado para transporte de materiais 43
Figura 18: As três diferentes macrotarefas do operador fora-de-linha 43
Figura 19: Frequência relativa das principais tarefas 44
Figura 20: Tempos totais por tarefa por dia de observação 45
Figura 21: Tempos totais por tarefa por dia de observação versus tempo ocioso 46
Figura 22: Totais de tempos ociosos e ocupados por observação 46
Figura 23: Resumo da agregação de valor do trabalho desempenhado 47
Figura 24: Esquema dos 5 Por Quês na resolução de problemas 48
Figura 25: Diagrama de Ishikawa 48
Figura 26: Manual das tarefas 50
Figura 27: Posição dos scanners 1, 2 e 3 51
Figura 28: Exemplo da tela do *Andon* 53
Figura 29: Mapa de tarefas 56
Figura 30: Captura de tela da simulação simplificada em ARENA 57
Figura 31: Captura de tela da área AC2 na simulação (versão expandida) 58
Figura 32: Conjunto de displays em tempo real da simulação 58

Figura 33: Captura de tela da área fora da linha na simulação.....59
Figura 34: Análise de sensibilidade para variação de OEE.....60
Figura 36: Tempos de valor agregado nos dois cenários 63
Figura 37: Alocação do funcionário fora da linha.....63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Modelo de Produção Enxuta proposto por Sawhney e Chason (2005). 20
Tabela 2: Ciclo PDCA segundo Liker e Franz (2011). 22
Tabela 3: Diferentes técnicas de Medição do Trabalho 33
Tabela 4: Peças importantes para a construção de um modelo de sistema. 34
Tabela 5: Frequências observadas das principais tarefas 44
Tabela 6: Modelo do manual de tarefas 50
Tabela 7: Variáveis alimentadas pelos scanners 52
Tabela 8: Algoritmos e respostas do *Andon* 52
Tabela 9: Cenários a serem verificados 54
Tabela 10: Dados necessários para o modelo 54
Tabela 11: Número atribuído a cada tarefa 55
Tabela 12: Matriz tempo médio de deslocamento em segundos 56
Tabela 13: Lógica de decisão por cenário 57
Tabela 14: Médias de agregação de valor na simulação 59
Tabela 15: Análise de sensibilidade para variação de linhas servidas 60
Tabela 16: Impactos financeiros esperados 64

LISTA DE SIGLAS

ACM – *Air Conditioning Module*

BCM – *Body Control Module*

ERP – *Enterprise Resources Planning*

OEE – *Overall Equipment Efficiency*

PCB – *Printed Board Circuit*

PDCA – *Plan, Do, Check, Act*

QR – *Quick Response*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 14

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS 14
1.2 JUSTIFICATIVA 15
1.3 ESCOPO DO TRABALHO 15
1.4 OBJETIVOS 16
1.5 METODOLOGIA 16
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO 17

2 REVISÃO DA LITERATURA 18

2.1.1 O *LEAN MANUFACTURING*: SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO 18
2.1.1 A MELHORIA CONTÍNUA NA TOYOTA 21
2.1.2 KANBAN 24
2.1.3 ANDON 25
2.1.4 EFICIÊNCIA OPERACIONAL GLOBAL (OEE) 27
2.1.5 A MANUFATURA CELULAR 28
2.1.6 MOVIMENTAÇÃO DE MATERIAIS 30
2.2 PADRONIZAÇÃO DE PROCESSOS 31
2.2.1 TÉCNICAS DE MEDIÇÃO DO TRABALHO 33
2.3 MODELAGEM E SIMULAÇÃO 34

3. ESTUDO DE CASO 36

3.1 A EMPRESA X 36
3.2 A ÁREA DA MONTAGEM FINAL 39
3.3 PDCA: A APLICAÇÃO DO CICLO DE MELHORIA 41
3.3.1 *PLAN* - PLANEJAMENTO: A IDENTIFICAÇÃO DO TRABALHO 42
3.3.1.1 PLANEJAMENTO: ANÁLISE DO HISTÓRICO 42
3.3.1.2 PLANEJAMENTO – ANÁLISE DA SITUAÇÃO ATUAL 44
3.3.1.3 PLANEJAMENTO – ANÁLISE DA CAUSA RAIZ E OBJETIVOS 47

3.3.2 *DO* - EXECUÇÃO: CONTRAMEDIDAS 49
3.3.2.1 CONTRAMEDIDAS – PADRONIZAÇÃO E TREINAMENTO 50
3.3.2.2 CONTRAMEDIDAS – ANDON E GATILHOS 51
3.3.3 *CHECK* – VERIFICAÇÃO: ANÁLISE DE RESULTADOS 53
3.3.3.1 VERIFICAÇÃO: PREMISSAS DA SIMULAÇÃO 54
3.3.3.2 VERIFICAÇÃO: DADOS MEDIDOS PARA A CONSTRUÇÃO DO MODELO 55
3.3.3.3 VERIFICAÇÃO: CONSTRUÇÃO E LÓGICA DO MODELO 57
3.3.3.4 INFORMAÇÕES OBTIDAS E ANÁLISES DE SENSIBILIDADE 59
3.3.4 *ADJUST* – AJUSTAR: FOLLOW-UP 61

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS 62

5. CONCLUSÕES 65

6. REFERÊNCIAS 66

ANEXO A – TERMO DE AUTENTICIDADE 68

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Este trabalho descreve a filosofia por trás dos pontos chaves do Sistema Toyota de Produção (produção enxuta) e analisa um estudo de caso da aplicação de sua filosofia de melhoria contínua em um projeto de padronização, análise de produtividade e alocação de trabalho desenvolvido em uma empresa multinacional japonesa do ramo de manufatura de peças automotivas no estado do Tennessee, EUA.

O projeto foi desenvolvido durante um curso presencial em *Lean Manufacturing* (manufatura enxuta) na Universidade Y, e contou com um supervisor da empresa, um supervisor do departamento de engenharia industrial da Universidade Y, e cinco alunos da área de engenharia. A fábrica estudada tem *layout* produtivo misto, dividido entre linhas de produção nas etapas iniciais e manufatura celular nas etapas finais. Os materiais são distribuídos entre células e linhas de produção por meio de um sistema de *Kanban*.

A requisição inicial da empresa feita ao grupo responsável pelo projeto foi: "baseado nos conceitos da manufatura enxuta, estudar a produtividade dos trabalhadores que suprem e coletam materiais nas células de manufatura de módulo de controle do ar condicionado automotivo (ACM) e controle eletrônico geral (*body control module*, BCM) sob a ótica do modelo *A3* de ciclo *PDCA* (*Plan-Do-Check-Act*, ou Planejar, Executar, Verificar, Ajustar) ".

Foram utilizados estudos do *layout*, movimentação de materiais, estudos de tempos e movimentos, desenvolvimento de lógica de *software* e, posteriormente, simulação e modelagem para a verificação e avaliação de resultados.

O estudo de caso apresentará uma introdução ao sistema de produção da Empresa X, mostrará o estado e desafio encontrados inicialmente, estudará os trabalhos e as melhorias propostas neste ambiente baseado em um modelo *PDCA* A3, e ainda proporá formas de avançar nestas melhorias através da discussão dos resultados obtidos.

1.2 JUSTIFICATIVA

A padronização de processos é vital para a correta administração da produção sob a filosofia Toyota, e, “sem ela, métodos avançados de redução de variação são inúteis” (LIKER; MEIER, 2007, p. 119). No entanto, foi percebido que na fábrica estudada havia uma maior preocupação na padronização dos processos dentro das linhas de produção e das células e não haviam sido realizados ainda quaisquer estudos da produtividade dos processos que ocorriam fora das células e linhas produtivas.

Apesar de a Empresa X ter como objetivo final a produção puxada em todas as etapas, isso ainda não era verdadeiro na planta estudada. O pedido inicial de estudo das eficiências do trabalhador fora das células veio como uma consequência de ordens da matriz no Japão de se eliminarem os pulmões (estoques intermediários) que cada célula possuía. Não se sabe o motivo, mas historicamente não havia sido dada qualquer atenção à eficiência do trabalhador de fora das células.

Assim, esse trabalho vem contribuir para a descrição e avaliação dos fatos para que aqueles que trabalhem em um ambiente de produção celular possam conhecer um exemplo do processo de análise, padronização e melhoria de alocação de funcionários responsáveis a dar suporte às células.

1.3 ESCOPO DO TRABALHO

A fábrica estudada da Empresa X conta com três áreas onde são realizadas as três etapas principais em seu processo produtivo. A última etapa, conhecida como a etapa da montagem final, apresenta *layout* celular.

Seguindo instruções dadas pelos gestores da fábrica, que desejavam conhecer melhor o trabalho nesta área, o Estudo de Caso é focado especificamente nas análises acerca das tarefas desenvolvidas pelo funcionário fora da célula produtiva no setor específico da montagem final da Empresa X. Os trabalhos feitos pelos funcionários fora das células têm como objetivo principal o transporte e movimentação de materiais (*material handling*): eles suprem a linha com produtos intermediário e coletam os produtos acabados.

O projeto analisou dados medidos entre os meses de junho e julho de 2016. Para o caso específico da simulação, como visto na fase de verificação do PDCA, o modelo limita-se a análise das ações do funcionário fora da linha, utilizando dados históricos do último semestre (entre os meses de janeiro e junho de 2016), como tempo de ciclo médio, levantados para sua construção e validação, com premissa de tempos determinísticos (constantes e sem variação).

1.4 OBJETIVOS

O trabalho tem como objetivo descrever, através de estudo de caso, uma aplicação de um procedimento de melhoria sob a filosofia do *Lean Manufacturing* e demonstrar os efeitos positivos da aplicação destes conceitos na resolução do problema real de trabalhar a melhoria contínua não só na manipulação de materiais (dentro das células produtivas), mas também na movimentação dos mesmos (fora das células produtivas). Desta forma, buscar-se-á descrever o projeto de melhoria seguindo a cronologia proposta de cada uma das etapas – planejamento, execução, verificação e ajustes - e avaliar os efeitos positivos da Manufatura Enxuta.

Como objetivos específicos, temos:

1) Descrever o estado encontrado da organização do trabalho no setor de montagem final na Empresa X;
2) Descrever o desenvolvimento do projeto Kaizen a partir do modelo A3 PDCA;
3) Descrever os trabalhos realizados para a melhoria dessa organização encontrada;
4) Estudar quantitativamente a eficiência e valor agregados do trabalho específico do trabalhador fora das células produtivas;
5) Estudar quantitativamente o retorno sobre o investimento do projeto descrito;
6) Discutir qualitativamente o conhecimento gerado pelo projeto.

1.5 METODOLOGIA

O presente trabalho é iniciado com um estudo teórico dos conceitos utilizados: O *Lean Manufacturing* e suas diversas ferramentas, movimentação de materiais, padronização de processos, modelagem e simulação, a partir de artigos, dissertações e livros.

Posteriormente, é feita uma revisão do trabalho exercido durante o projeto seguindo o ciclo de melhoria proposto pelo modelo Toyota (PDCA), e, por fim, são feitas críticas e análises quantitativas sobre o trabalho exercido, tratando-se, portanto, de um estudo de caso.

A fase de planejamento trabalhou com identificação das tarefas através de acompanhamento das ações do funcionário fora da linha, anotando cada ação tomada e analisando a frequência e tempo despendido (através de uso de cronômetro) de cada uma dessas ações. A fase de verificação utilizou o software de simulação ARENA para análise de impactos das contramedidas propostas. Esse estudo de caso tem como fonte documentos internos e informações disponíveis em nuvem compartilhada, sendo elas fornecidas pela empresa à época do projeto.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho traz, no capítulo 1, uma introdução ao tema, a justificativa, escopo, metodologia e os objetivos. Posteriormente é apresentada, no capítulo 2, uma revisão literária da teoria que serve de base para o projeto. São discutidos tópicos referentes a: Manufatura Enxuta (*Lean Manufacturing)*, Movimentação de Materiais, Estudo de Tempos e Movimentos, Padronização de Processos e Modelagem e Simulação.

O capitulo 3 se inicia com a apresentação do estado encontrado inicialmente e o do sistema produtivo no qual o trabalho está inserido. Posteriormente no mesmo capítulo vemos o estudo de caso da aplicação do ciclo de melhoria, com subtópicos separados de acordo com o modelo PDCA – planejar, executar, verificar, ajustar.

A seguir, o capítulo 4 é um espaço reservado para as críticas e análises qualitativas, especialmente sob a ótica financeira de se investir em melhorias como as que foram estudadas ao longo do caso. São feitas ainda propostas de melhorias futuras. Por fim, o trabalho é encerrado com a conclusão dada no capítulo 5.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1.1 O *LEAN MANUFACTURING*: SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO

O *Lean Manufacturing* tem suas origens no Sistema Toyota de Produção. O termo "enxuto" ("*lean*" em português) foi cunhado por James Womack, professor do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), no livro "A máquina que mudou o mundo", *best-seller* que divulgou este sistema em todo o mundo na década de 1990. Posteriormente, Jeffrey Liker, da *Univeristy of Michigan*, se tornou referência ao trazer as ferramentas desenvolvidas neste sistema para o mundo empresarial em ricos detalhes e adaptando a cultura do ocidente. Taiichi Ohno e Shingeo Shingo, engenheiros industriais japoneses, são considerados os pais do Sistema Toyota de Produção. (SOBEK; SMALLEY, 2010).

Shingo (1996) argumenta que não se trata de um sistema de produção, mas de um sistema de eliminação sistemática de perdas. Segundo o autor, para compreendermos o Sistema Toyota de Produção, precisamos primeiro entender a dinâmica do mercado, onde os preços já são pré-definidos por ele. Assim, ele sugere analisarmos a equação:

$$Preço - Custo = Lucro$$

Com isso, entendemos que a única maneira de elevar os lucros é através da redução dos custos, e, consequentemente, a única maneira de reduzir os custos é através da redução das perdas. Assim, eliminar todo tipo de desperdício é o alicerce da filosofia *lean*. Ohno (1988, p.27) cunhou a célebre frase: "Custos não existem para serem calculados, existem para serem reduzidos".

Neste sistema, são identificados sete tipos de perda a serem combatidas: a perda por superprodução, a perda por espera, a perda por transporte, perda por processamento, perda por estoque, perda por desperdício nos movimentos e perda por produtos defeituosos (SHINGO, 1996). Ohno (1988), no entanto, havia expandido este conceito dizendo que a visão de apenas "sete perdas" pode nos deixar "preguiçosos": existem infinitos tipos de perdas, a sempre serem combatidas.

Liker e Meier (2007) categorizam esses diferentes tipos de perdas em dois diferentes tipos: as perdas dentro do ciclo e as perdas fora do ciclo. As perdas dentro do ciclo incluem as perdas com movimentos dos operários e deslocamentos entre duas máquinas. São consideradas de mais fácil visualização e de resultados mais rápidos uma vez corrigidas. Já as perdas fora do

ciclo englobam os ocorridos fora dos momentos em que os equipamentos estão operacionais: como os tempos de *setup*, de preparações e de troca de ferramentas.

Para se atingir a perda zero, foi descoberta a necessidade de se buscar também um estoque zero. Na produção tradicional, os estoques intermediários nunca tinham sido objetos de preocupações e estudos aprofundados. A descoberta do tamanho do desperdício que é a manutenção de estoques foi a grande percursora do *lean* como um todo e mais especificamente do conceito *just-in-time*: um rompimento com o tradicional Lote Econômico de Compras em busca de lotes e ciclos de produção cada vez mais reduzidos (SHINGO, 1996). O Lote Econômico de Compras, segundo Slack *et. al* (2015), p. 365, é "a abordagem mais comum para decidir quanto de um item particular pedir", geralmente confrontando os custos de se manter o produto (como o custo de capital de giro e de estoque) contra o custo de se fazer um pedido. Ainda segundo Slack *et. al* (2015), esse modelo é simplista, e os próprios autores afirmam que a abordagem tem como principais críticos os que adotam as filosofias japonesas de produção, pois a questão-chave não é saber o lote ótimo, mas sim como poder melhorar as operações a fim de que o nível de estoque se torne cada vez menor e menos necessário.

Shingo (1996) defende que o Sistema Toyota não diminui a importância ou eficácia do Sistema Fordista, mas é uma evolução progressiva do mesmo. Lista como as três principais diferenças entre os dois modelos:

1. **Fluxo unitário de peças:** Ambos utilizam fluxo de peça único na montagem, mas na Toyota este processo é estendido desde a fabricação de peças e em pequenos lotes. Tem como objetivo ciclos cada vez menores, estoques intermediários e de produtos acabados reduzidos.
2. **Tamanho do lote:** Enquanto o modelo Ford definiu a produção em larga escala como o padrão da indústria, o modelo Toyota busca na produção em lotes pequenos como resposta às variações e flutuações das condições e demandas do mercado, evitando grandes estoques de produtos, facilitando a produção contrapedido e entrega do que o cliente necessita.
3. **Fluxo do produto:** Diferentemente do fluxo único de produto na linha, a Toyota trabalha com um fluxo de diversos modelos diferentes, facilitando ajustes para mudanças e equilíbrio das cargas de trabalho.

Na eliminação de perdas, o Sistema Toyota de Produção vê na capacidade cognitiva humana o maior aliado, considerando, inclusive, a falta de escutar os funcionários e suas ideias como um tipo de perda. Em 2011, o presidente da Toyota definiu seu sistema de produção em

apenas dois simples conceitos: melhoria contínua e respeito com os trabalhadores (LIKER; FRANZ, 2011). Ohno (1988) defende que aqueles que estão em posições hierárquicas superiores ajam como tutores e professores, rompendo com a visão ocidental do gerente que vai ao chão de fábrica apenas para repreender atitudes incorretas e cobrar trabalho duro. O autor comenta que o gerente deve: "em vez de ficar apenas corrigindo os trabalhadores que estão sentados e trabalhando, quando deveriam estar pé, você deve encontrar maneiras de tornar o trabalho mais interessante para eles." (OHNO, 1988, p.97) Sawhney e Chanson (2005) separam a implantação de sistemas *lean* em seis etapas, como descrito na Tabela 1.

Tabela 1: Modelo de Produção Enxuta proposto por Sawhney e Chason (2005).

Categoria	Subtarefas
Planejamento	- Desenvolver uma base para melhorias; - Fazer *bechmarks* internos e externos dos processos; - Desenvolver indicadores, meta e estratégiass; - Alocação apropriada de recursos; - Desenvolvimento de equipes; - Desenvolver e treinar a estratégia de comunicação.
Local de trabalho	- Garantir segurança, organização e padronização; - Ter controles visuais de administração; - Design de processos a prova de erros.
Fluxo	- Redução de tempos de *setup*; - Processos de acordo com o *takt time*; - Balanceamento de linha; - Produção em pequenos lotes e métodos de puxar produção.; - *Layout* em célula;
Suporte	- Relacionamento com sistemas ERP; - Sistemas de manutenção; - Relacionamento com fornecedor; - Controle da Produção.
Consistência	- Definir, medir e analisar as variações dos processos; - Melhorar o processo por reduzir esta variação; - Controlar os processos.
Sustentação	- Garantir a manutenção dos resultados obtidos.

Fonte: SAWHNEY, CHANSON (2005). Adaptado pelo Autor.

O *Lean Manufacturing* não deve ser encarado como um mecanismo isolado, mas como uma filosofia que baseia toda a empresa: Liker e Franz (2011) argumentam que no Sistema Toyota a organização é vista como um organismo e não como uma máquina solitária, os tempos apresentam dependências e sofrem com variações ao longo de todo o processo produtivo. Neste sentido, é possível traçar um ponto de concordância entre a Manufatura Enxuta e a Teoria das Restrições, que mostra que "as flutuações nos processos conectados e dependentes de sequência acrescentam umas às outras em vez ne nivelá-los" (SLACK *et al*., 2015, p. 471). O sistema Toyota foi também o responsável pela popularização do termo *Kaizen*, que significa "mudança para melhor" em japonês, traduzindo o ideal de compromisso com a melhoria em todos os níveis organizacionais e a todo momento. (LIKER; FRANZ, 2011)

2.1.1 A MELHORIA CONTÍNUA NA TOYOTA

A filosofia de trabalho dentro da Toyota ficou famosa no ocidente ao ter conseguido alcançar duas marcas que no mercado tradicional eram vistas como excludentes: em 2005, a Toyota havia ultrapassado montadoras tradicionais como General Motors e Ford em velocidade de produção, ao mesmo tempo em que continuava sendo considerava a referência em gestão da qualidade. (SOBEK; SMALLEY, 2010).

O que difere esta filosofia das demais na administração cientifica da produção são as abordagens excepcionais e as rupturas de paradigmas trazidas. O bom-senso e conceitos matematicamente para a Toyota nem sempre significam eficácia garantida. Nessa filosofia, a base não é uma ferramenta, uma formula específica ou arranjo físico especial que a fazem única, mas o fato de estarem sob uma filosofia de resolução de problemas de maneira agressiva, utilizando método científico para investigação da causa raiz de qualquer problema que apareça (SOBEK; SMALLEY, 2010).

Sob este conceito, o PDCA (do inglês *plan, do, check, adjust*) - plano cíclico de melhoria baseado em planejar, executar, verificar, e ajustar – é a chave para a melhoria contínua nesse sistema, de acordo com Liker e Franz (2011). O ciclo PDCA é uma forma de fazer que o aprendizado seja em nível organizacional, e não apenas individual. Sua forma japonesa foi descrita pelos autores da maneira mostrada na Tabela 2.

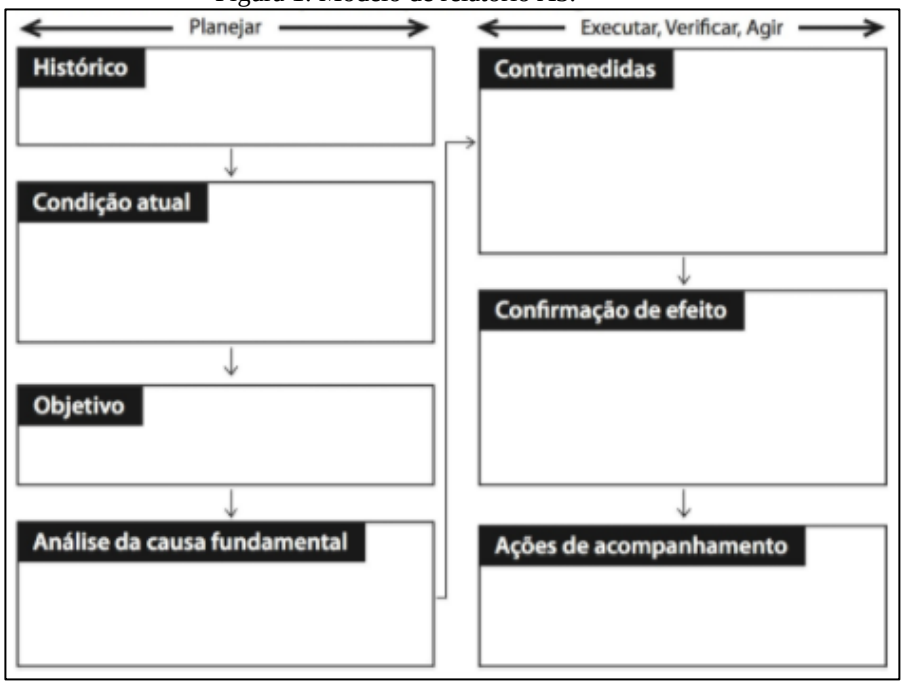
Tabela 2: Ciclo PDCA segundo Liker e Franz (2011).

Etapa	**Descrição**
PLAN (Planejar)	Questionar todos os processos e entender a causa-raiz. Desenvolver medidas temporárias até que as definitivas sejam entregues. Planejar minuciosamente a implementação.
DO (Executar)	Conduzir o experimento, executando a contramedida proposta.
CHECK (Verificar)	Monitorar de perto e analisar os resultados.
ACT (Ajustar)	Buscar o aprendizado com o que aconteceu e desenvolver melhorias a partir da repetição deste ciclo.

Fonte: LIKER, FRANZ (2011). Adaptado pelo Autor.

Neste contexto, a Toyota desenvolveu um modelo de relatório para resolução de problemas conhecida simplesmente como “A3” – tendo esse nome pois o relatório completo deve caber em apenas uma página de papel deste formato. A ideia é ter um raciocínio rápido, visual e com uma capacidade de comunicação altamente eficiente. Têm como principais elementos: raciocínio lógico, objetividade, resultados, síntese e visualização, alinhamento, coerência e consistência, ponto de vista sistêmico. Este relatório A3 é composto de tema e sete campos diferentes, como visto na Figura 1 (SOBEK; SMALLEY, 2010):

Figura 1: Modelo de relatório A3.



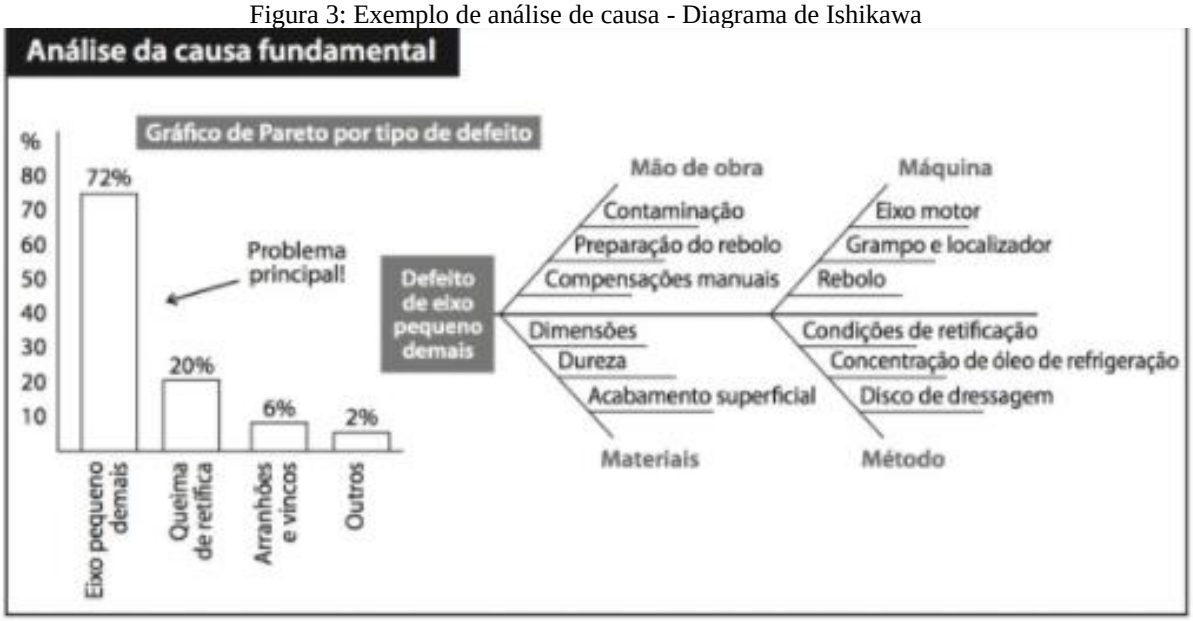
Fonte: SOBEK, SMALLEY (2010)

- **Tema:** É o título do relatório, devendo ser algo geral, como: “reduzir custos de pintura”.
- **Histórico:** Toda a informação precedente e as questões afetadas pelo problema a ser resolvido deve ser descrito neste campo, incluindo preferencialmente gráficos e análises numéricas.
- **Condição atual:** Mostrar toda a situação atual do problema de maneira simples e compreensiva, focando nos elementos críticos quantitativos e resumindo as opiniões qualitativas. Tem como objetivo dar ao leitor uma visão geral do que está ocorrendo.
- **Declaração do objetivo:** Definir com o que vai ser comparado o resultado (qual é o processo referencial?) e métricas para definir o sucesso ou não do projeto.
- **Análise de causa-raiz:** Investiga-se a fundo a ocorrência, utilizando normalmente a “técnica dos cinco por quês”: a fim de se aprofundar cada vez mais no nível da análise de causa, evitando uma visão superficial da causa raiz, como visto na Figura 2. Outra técnica comumente usada é o diagrama de Ishikawa, que busca organizar o raciocínio visualmente, a partir do agrupamento de diferentes defeitos em um setor específico, como mostrado na Figura 3. Independentemente do método utilizado, o objetivo desta parte do relatório é encontrar a causa raiz através de dedução lógica ou experimentação, estabelecendo relação entre causa e efeito.

Figura 2: Exemplo de análise de causa – 5 Por quês

Fonte: SOBEK, SMALLEY (2010)

Figura 3: Exemplo de análise de causa - Diagrama de Ishikawa



Fonte: SOBEK, SMALLEY (2010)

- **Contramedidas:** Na Toyota, usa-se contramedida ao invés de solução pois acredita-se que sempre haverá uma contramedida melhor a ser descoberta. Neste campo, espera-se uma lista de ações sobre como tratar o problema abordado nos campos acima. Deve ser identificado quem, como, quando e onde serão tomadas as ações, ou seja, definir um plano de ação.
- **Verificação e análise:** Equivalente a terceira etapa do ciclo PDCA, aqui são estudados quais dados serão coletados, quem e como serão coletados e analisados estes dados e finalmente serão estudadas a eficácia de cada uma das ações propostas acima.
- **Ações de acompanhamento:** A fim de se fechar o ciclo PDCA, aqui é proposta é identificar processos ou departamentos que podem ser impactados positivamente com as ações tomadas ao longo deste processo e se existem novas melhorias que foram expostas a serem trabalhadas.

2.1.2 KANBAN

Shingo (1996, p.263) define *Kanban* como “um sistema de controle visual autorregulado e simplificado, que se concentra no chão-de-fábrica e faz com que seja possível responder a mudanças de produção simples e rapidamente”. Trata-se de um sistema de informação utilizado para mover materiais em um ambiente de produção puxada (GREEN *et al.*, 2010). Do japonês “cartão”, tem como princípio o uso de controles visuais para exercer esta

função de puxar a produção, sendo uma forma de ordenar a cadência de trabalho, definindo o quê e quando produzir, além de ter os endereços de coleta e entrega para facilitação da movimentação interna de materiais. (MOREIRA, 2011)

A transparência e melhoria no fluxo de informação são os resultados esperados pelo *Kanban*. Sinais visuais são usados para limitar o fluxo de trabalho (*Work In Process*) e garantir cadência de entrega compatível com os *lead times*. Um aspecto importante é o chamado *feedback loop* (ou "informação em ciclo fechado", em tradução livre), ou seja: a gestão da informação é sempre em duas vias: as informações devem estar igualmente disponibilizadas às células fornecedores e recebedoras. (ANDERSON; CHARMICHAEL, 2016)

Com a diminuição nas filas e no tamanho de inventário esperado com o uso do *Kanban*, os problemas e defeitos são mais facilmente identificáveis pelos operadores. Além disso, fazem parte das vantagens deste sistema não só a redução de custos e de estoques, mas também o baixo custo associado com a implantação, a desburocratização da documentação de procedimentos e a valorização dos colaboradores. (AGUIAR; PEINALDO, 2007)

Shingo (1996) argumenta que o sistema *Kanban* é um sistema que se auto-regula e que gradualmente traz benefícios a produtividade, ao passo que vai regulando o fluxo global e mantendo o estoque baixo, fazendo a sintonia fina das flutuações na carga. Ainda segundo Shingo (1996), o Sistema Toyota de Produção só pode ser implementado com sucesso em uma empresa se os conceitos do *Kanban* forem bem estudados.

2.1.3 ANDON

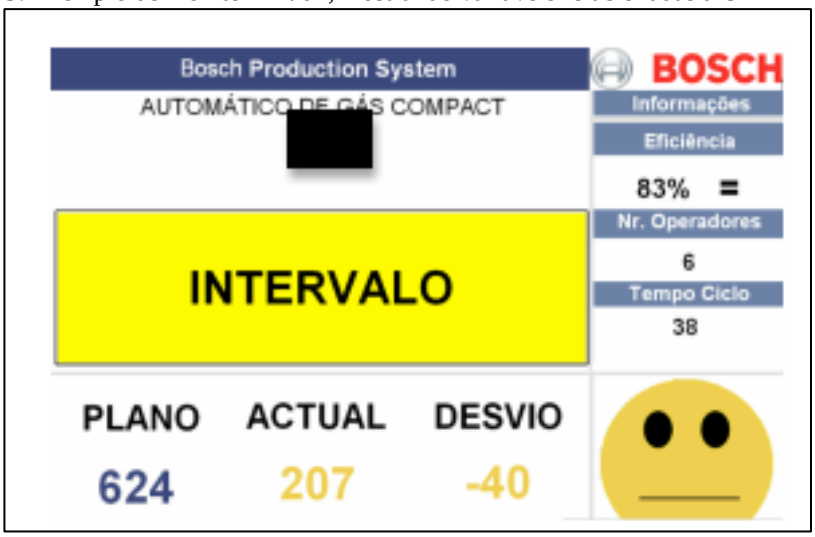
Ainda sobre o conceito de um bom controle visual, o chamado *Andon* é um importante componente nas fábricas operando sob a manufatura enxuta. Inicialmente desenvolvido como apenas um sinal luminoso como visto na Figura 4 (geralmente vermelho, amarelo ou verde, indicando o estado atual da linha), teve seu conceito desenvolvido com o advento dos monitores. (GREENFIELD, 2009)

Figura 4: Sistema *Andon* clássico

Fonte: GREENFIELD (2009).

Hoje, é desenvolvido de forma a buscar uma maior integração do que se passa na produção com operador, apresentando informações úteis em tempo real. Segundo Greenfield (2009), entre estas informações úteis, encontram-se geralmente, além do estado atual da linha, o *cycle time* (tempo de ciclo) atual, número de peças produzidas e defeituosas, e a eficiência operacional atual da linha ou célula (OEE), como no exemplo visto na Figura 5.

Figura 5: Exemplo de monitor *Andon*, mostrando variáveis relacionadas a OEE



Fonte: GREENFIELD (2009).

Greenfield (2009) argumenta ainda que é necessário haver uma boa compreensão do trabalho exercido para que o *software* o *Andon* esteja de acordo com as necessidades da onde ele for inserido, além de que não se esqueça que o *Andon* deve ser sempre mantido o mais simples e visualmente agradável possível para os funcionários.

2.1.4 EFICIÊNCIA OPERACIONAL GLOBAL (OEE)

O chamado OEE – *Overall Equipment Effectiveness* – é uma forma de medição da eficiência global da operação e constitui um importante indicador nos sistemas enxutos. Inicialmente desenvolvido para o auxílio na manutenção de equipamentos (por isso também podendo ser traduzido para "eficiência global dos equipamentos"), esse indicador hoje pode ser encontrado aplicado nas indústrias de diversas maneiras. (YUNIAWAN *et al*., 2013)

O OEE original foi definido na década de 1980 e envolvia três elementos principais: a disponibilidade do recurso, sua performance e sua taxa de qualidade. Segundo Yuniawan et al. (2013), esses elementos são encontrados da seguinte maneira:

1) A disponibilidade é entendida como o tempo em que o recurso esteve ativo, sendo uma razão entre o tempo produzindo e o tempo total disponível;

$$DISP = \frac{(\,tempo\ total - tempo\ inoperante)}{tempo\ total}$$

2) A performance é a multiplicação de duas razões: a razão entre o tempo de ciclo ideal e o tempo de ciclo real multiplicada pela razão entre o número de peças produzidas * tempo de ciclo real pelo tempo operacional total;

$$PERF = \frac{tempo\ de\ ciclo\ ideal}{tempo\ de\ ciclo\ real}\ \frac{tempo\ de\ ciclo\ real \times peças\ produzidas}{tempo\ total\ de\ operação}$$

3) Já a taxa de qualidade é dada pela razão entre o número total de peças produzidas subtraídas das peças defeituosas sobre o número total de peças produzidas;

$$QUAL = \frac{número\ total\ produzido - número\ de\ peças\ defeituosas}{número\ total\ produzido}$$

4) OEE: Por fim, o OEE original é um produto entre esses três elementos:

$$OEE\ =\ DISP \times PERF \times QUAL, \qquad 0\ \leq \mathrm{OEE}\ \leq 1$$

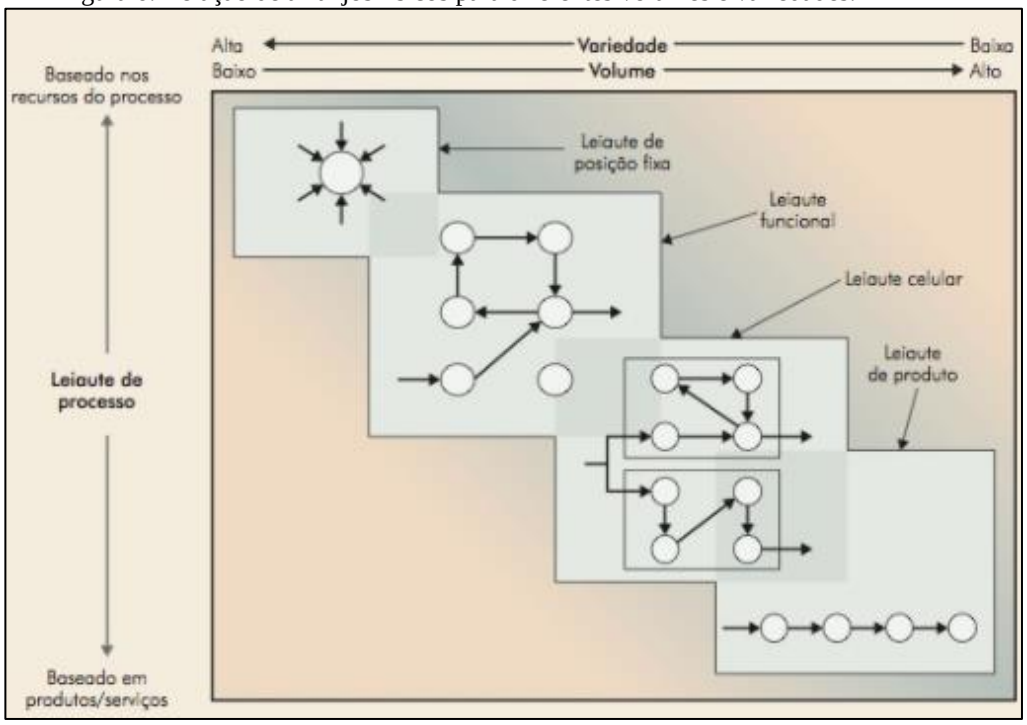
Yuniawan et al. (2013) argumentam que atualmente as empresas costumam fazer adaptações desses cálculos para suas realidades produtivas, adicionando elementos capazes de

identificar cada vez mais precisamente as perdas como paradas, perdas por mudanças de *setup*, taxas lentas de produção, paradas intermitentes e defeitos e problemas de qualidade.

2.1.5 A MANUFATURA CELULAR

A escolha do tipo de arranjo físico em uma empresa é tradicionalmente dada de acordo com as características de volume e variedade do que será produzido, como exemplificado na Figura 6. (SLACK *et al.*, 2015).

Figura 6: Relação de arranjos físicos para diferentes volumes e variedades.



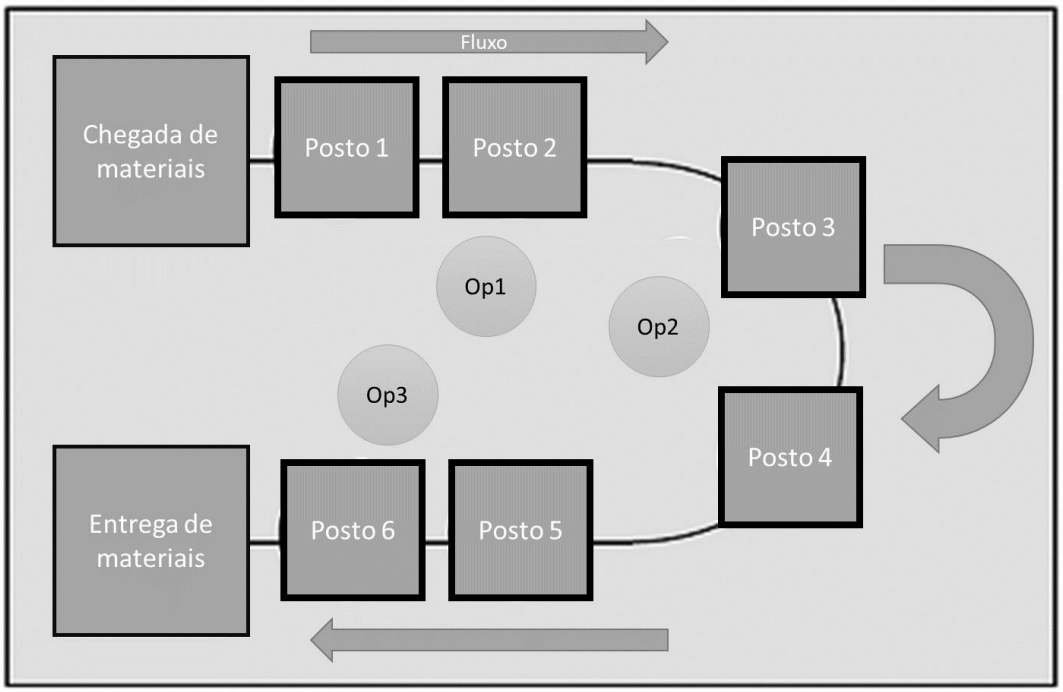
Fonte: SLACK *et al*. (2015).

No *layout* celular, as peças entrantes no processo são pré-selecionadas para que o *setup* específico necessário para sua transformação esteja disponível. Internamente, a célula pode ter diferentes organização, sendo um arranjo físico que busca unir a capacidade de adaptação a uma variedade de produtos do arranjo funcional ao fluxo sequencial organizado do arranjo por produto, fornecendo um bom equilíbrio entre custo e flexibilidade, além de uma alta agilidade em processamento de modelos diferentes de produtos. (SLACK *et al.*, 2015).

A manufatura celular apresenta três principais requisitos: a definição de *layout* adequado, planejamento de maquinários e instrumentos e planejamento da movimentação de materiais. Geralmente têm formato de U, O ou S. (BARZANI, 1993).

Na Figura 7 é apresentado um exemplo de célula em formato de U, com três operadores (identificados como Op1, Op2, Op3), seis postos de trabalho, um posto de chegada e um posto de entrega de materiais, com um fluxo no sentido horário. Os postos de trabalho podem ser locais de processamento com máquinas, postos de processamento de materiais, equipamentos de checagem e garantia da qualidade, por exemplo. (BARZANI, 1993).

Figura 7: Célula em formato de U.



Fonte: BARZANI (1993). Adaptado pelo autor.

A manufatura celular pode ainda ser definida como uma linha de produção independente para um grupo de artigos que apresentam alta similaridade entre si, tendo como objetivos reduzir a movimentação de materiais, tempos de ciclo, estoque, problemas de qualidade e necessidades de armazenagem (MUTHER, 2002).

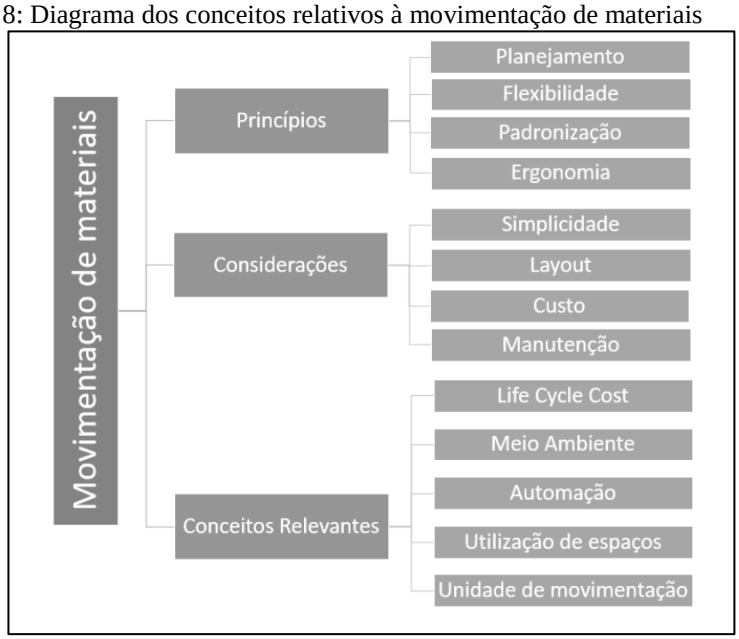
2.1.6 MOVIMENTAÇÃO DE MATERIAIS

A movimentação de materiais é um dos pontos chaves de melhoria nas implantações do *Lean Manufacturing*, mas procedimentos padrão para a implementação do *Lean* neste cenário não são habitualmente encontráveis na literatura acadêmica (GREEN *et al.*, 2010).

Devido à natureza dependente de diversas variáveis, o trabalho de pesquisa por melhorias na movimentação de materiais é um trabalho especialmente complexo e que raramente encontra uma única solução para cada situação particular (BRAGLIA *et al.*, 2001).

Conforme visto em Aized (2010), o estudo da movimentação de materiais envolve diversos fatores pela natureza da operação: tamanho, forma, peso, condições, caminhos e frequências são analisados no tempo e no espaço. Esses fatores são apresentados na Figura 8.

Figura 8: Diagrama dos conceitos relativos à movimentação de materiais



Fonte: AIZED, 2010. Adaptado pelo autor.

Ohno (1988) argumenta que movimento e trabalho devem ser vistos como coisas completamente distintas, e que é necessário convencer que trabalhadores que se movem rápido e energeticamente não estão exercendo trabalho melhor ou mais excepcional. Esta visão foi a base para a criação do conceito japonês hoje largamente difundido no ocidente de autodisciplina, o 5S: uma metodologia que busca principalmente eliminar perdas por movimentos, deslocamentos e procura por materiais. Secundariamente, auxilia na manutenção

da padronização de processos em empresas com alto grau de implantação do *lean manufacturing*. Na Figura 9, são ilustrados os cinco princípios deste programa.

Figura 9: As etapas do ciclo 5S segundo Liker.

Fonte: LIKER & MEIER, 2007. Adaptado pelo autor.

Por ter sido um conceito bastante difundido no ocidente, muitas empresas acabaram por adotar o 5S isoladamente, o que não necessariamente é algo negativo para as operações, mas isoladamente, sem as análises de causa raiz e métodos para o combate das perdas inerentes ao pensamento enxuto, a eficácia do programa fica comprometida (LIKER; MEIER, 2007).

2.2 PADRONIZAÇÃO DE PROCESSOS

Liker e Meier (2007) definem a padronização do trabalho como um meio para analisar e compreender qualquer tipo de perda, através de documentação e representações visuais acessíveis aos operários, em formato de fluxos de trabalho. As regras na literatura para a documentação dos processos não são rígidas nem seguem uma receita pré-definida. No entanto, o objetivo é o mesmo: buscar entender o trabalho – incluindo as etapas de movimentação, discutida no tópico acima, e espera - em sua totalidade para expor ao máximo as possíveis perdas e eliminá-las. Os autores identificam três etapas básicas no processo de padronização:

1. Identificação das etapas básicas;
2. Registro do tempo de cada etapa;
3. Desenho da área de trabalho e do fluxo do operador dentro da área.

Liker e Meier (2007) sugerem ainda que o objetivo de redução de perdas do processo de padronização deve ser inicialmente focado em grandes perdas, necessitando níveis básicos

de detalhamento nas etapas iniciais e não necessariamente o detalhamento minucioso de cada processo: procura-se entender o que deve ser realizado, e não como deve ser realizado.

Slack *et al.* (2015) introduzem a padronização de processos como uma forma de adotar uma sequência comum de atividades, métodos e uso de equipamentos, com potencial de redução de custos de serviços, produtos ou processos, através da restrição da variação dos *outputs*. Os autores citam como exemplo de padronização a leitura de dados médicos – quando não há padronização da forma como os gráficos são mostrados, os funcionários podem se confundir e potencialmente gerar mortes por erros simples.

Slack *et al.* (2015) atentam ainda para o fato de que a padronização tem potencial para trazer vantagens estratégicas, mas que nem todo processo pode ou deve ser padronizado, ao passo que se dosa o *tradeoff* gerado com a autonomia e a liberdade dos indivíduos de executar tarefas de diferentes maneiras. Críticas a padronização são diretamente relacionadas aos conceitos introduzidos pela administração cientifica, onde cada funcionário tem formalizadas tarefas separadas, rotineiras e geralmente de baixa qualificação, privando os funcionários da possibilidade de contribuir de maneira mais significativa para os processos como um todo, trazendo alienação e podendo levar a baixa motivação e frustração.

No entanto, um estudo de caso intitulado "*Time and Motion Regain*", do professor da Universidade de Harvard, Paul Adler (1993), apresenta contra-argumentos para a ideia de que os sistemas de padronização de trabalho tradicionais podem trazer desmotivação e aumentar comportamentos negativos nos trabalhadores, sendo contra-produtivos.

Segundo Adler (1993), apesar de os padrões de trabalho impostos pela gerência aos operários serem de fato alienadores, os procedimentos desenvolvidos pelos próprios trabalhadores podem ser baseados na melhoria contínua da produtividade, qualidade e habilidades, uma vez que a hierarquia se torne uma forma de prover suporte e direcionamento ao invés de uma estritamente meramente de comando e ordens.

Este caráter humanizado da padronização é ponto de interseção entre Adler e os fundamentos do *Lean Manufacturing*. Os gerentes no ocidente tendem a acreditar que os trabalhadores veem suas tarefas como desmotivadoras e por isso costumam usar técnicas coercitivas de controle do trabalho. Adler (1993), conclui seu estudo dizendo que é necessário que a cultura hierárquica ocidental se livre destes paradigmas, e defende que o empoderamento dos funcionários é uma poderosa maneira de buscar a melhoria contínua da produtividade.

Souza e Rachid (2015) demonstram, em uma ampla pesquisa realizada no setor de autopeças brasileiro, que o envolvimento dos trabalhadores na garantia da qualidade dos

produtos é quase uma unanimidade neste mercado atualmente. A maioria das empresas passaram a adotar programas de envolvimento e empoderamento dos trabalhadores a partir dos anos 2000, sendo o *lean manufacturing* amplamente estudado no setor.

2.2.1 TÉCNICAS DE MEDIÇÃO DO TRABALHO

Medir o trabalho é tarefa essencial para a implantação da padronização. Existem algumas técnicas para tal, figurando entre as principais o Estudo de Tempos, a Síntese de Dados Elementares, o Sistema de tempos e Movimentos Predeterminados, a Estimativa Analítica e a avaliação por amostragem (SLACK *et al*., 2015). A descrição de cada uma das técnicas é mostrada na Tabela 3.

Tabela 3: Diferentes técnicas de Medição do Trabalho

Técnica	**Descrição**
Estudo de tempos	Datado dos primórdios da administração científica, envolve o uso de cronômetro para estabelecimento de tempos padrões a serem seguidos.
Síntese de dados elementares	Técnica que estabelece níveis de desempenhos decorrente de estudos de trabalhos sintéticos.
Sistema de tempos e movimentos predeterminados	Estabelece movimentos humanos com base na natureza física e biológica e nas condições do ambiente em questão.
Estimativa analítica	A estimativa dos tempos necessários para o trabalho é dada a partir do conhecimento e da experiência das variáveis externas ao operador, como o conhecimento do ambiente em que o trabalho está inserido.
Por amostragem	Grava-se um grande número de observações em um período de tempo e tira-se a alocação de tempo percentualmente relativo a cada atividade.

Fonte: SLACK *et al*., 2015. Adaptado pelo autor.

Existem diversas críticas de teor semelhante às críticas do último tópico, além de fatores como a subjetividade do processo de medição pelo medidor, o dilema ético do uso de pessoas como objetos de estudo, a possibilidade de um funcionário fazer trabalho diferenciado

durante o registro e também o fato de que o trabalho moderno tem migrado para um paradigma mais flexível e de tarefas menos facilmente definidas (SLACK *et al*., 2015).

2.3 MODELAGEM E SIMULAÇÃO

Maria (1997) introduz a modelagem como o processo de produzir uma representação da base e do funcionamento de um sistema específico de interesse e a simulação é o ato de colocar esta modelagem para operar, abrindo possibilidade para reconfigurações para que diversos cenários sejam experimentados – cenários estes que seriam inviáveis ou muito caros de serem testados na vida real. Exemplos locais onde a simulação é muito usada inclui governo, defesa, comunicações, produção, transportes, saúde, ecologia, estudos sociológicos, biociências e epidemiologia, serviços, economia e análises de negócios. Benefícios da modelagem e simulação incluem: um melhor entendimento do sistema trabalhado, ambiente para teste de hipóteses, observação de fenômenos em tempos muito mais reduzidos, estudo do efeito de mudanças em um sistema, possibilidade de experimentação com situações excepcionais, identificação de pontos sensíveis e correlações, identificação de gargalos e redução de tempo de desenvolvimento de novas metodologias e tecnologias. Um modelo de simulação conta com algumas "peças", como entidade, atributo, variável, recurso, fila acumulador, evento e temporizador. A Tabela 4 descreve cada uma dessas peças de acordo com Kelton *et al*. (2009).

Tabela 4: Peças importantes para a construção de um modelo de sistema.

Elemento	**Descrição**
Entidade	São os principais objetos da simulação: se movem, mudam de estado, afetam e são afetados por outras entidades e pelo estado do sistema. Normalmente têm um ponto de criação e um ponto de descarte bem definidos. Geralmente, definir quais entidades existem no sistema é a primeiro passo para a construção de um modelo.
Atributo	O atributo está ligado às características de uma entidade que a diferencia das outras entidades do mesmo tipo: as características são as mesmas, mas com diferentes valores. Por exemplo, todas as entidades "Pessoa" poderiam ter o atributo "Idade", mas com valores diferentes: a entidade Pessoa_José poderia ter o atributo Idade = 20, enquanto a entidade Pessoa_João poderia ter o atributo Idade = 30.

Variável	Está relacionada às variáveis globais de um programa do computador: é algo do sistema como um todo e não de uma entidade isolada, sendo acessível e podendo ser modificável por qualquer uma das entidades.
Recurso	Podem estar relacionados a mão-de-obra, maquinário, espaço físico, entre outros. Entidades reservam tempo disponível do recurso e o libera quando um determinado evento é finalizado. Um recurso pode ser múltiplo quando, por exemplo, uma fábrica tem duas ou mais prensas hidráulicas de mesmas especificações técnicas.
Fila	O local de espera onde as entidades ficam ociosamente alocadas enquanto esperam a liberação do recurso necessário para o próximo evento ocorrer. Pode estar relacionada a estoque intermediário e pulmão.
Acumulador	São variáveis específicas que auxiliam nas análises da saída da simulação, como por exemplo o número total de peças produzidas até um momento t.
Evento	Um evento é um acontecimento em um certo momento t que tem a capacidade de mudar atributos, variáveis ou acumuladores.
Temporizador	É uma variável específica responsável por armazenar os tempos t da simulação. Diferente do tempo real, ele não segue continuamente, mas caminha em "passos" Δt de acordo com o ritmo ditado pelos acontecimentos dos eventos da simulação.

Fonte: KELTON *et al.*, 2009. Adaptado pelo autor.

Já Kelton *et al.* (2009) introduzem simulação como uma vasta coleção de métodos e programas para imitar o comportamento de sistemas reais em um ambiente virtual, sendo algo cada vez mais popular com os recentes avanços da capacidade de computação – mas atenta para a generalidade do termo, já que pode ser usado nos mais diferentes contextos. Os autores atentam ainda para outra questão importante: sistemas reais são constantemente afetados por variáveis naturalmente incontroláveis e/ou aleatórias, gerando saídas igualmente aleatórias. Assim, muitas vezes pode existir a inclinação a uma super simplificação do sistema a ser modelado, a fim de tirar apenas análises aproximadas. Os autores indicam que este posicionamento ideal, argumentando que é mais válido ter uma resposta aproximada para um problema exato do que uma resposta exata para um problema aproximado. Ou seja: assim como na estatística, deve-se saber lidar com a incerteza, quantifica-la e trabalhar para tentar reduzi-la.

3. ESTUDO DE CASO

O estudo de caso aqui apresentado baseia-se na aplicação de um processo de melhoria contínua *Kaizen* de formato *PDCA A3* em uma seção específica de uma fábrica de *layout* produtivo misto, dividido entre linhas de produção nas etapas iniciais e manufatura celular nas etapas finais. Os materiais são distribuídos entre células e linhas de produção por meio de um sistema de *Kanban*.

3.1 A EMPRESA X

A Empresa X, onde o projeto foi realizado, é uma multinacional japonesa que adota o Sistema Toyota de Produção como base de sua filosofia produtiva, e é uma das maiores fabricantes de autopeças e uma das 500 maiores empresas do mundo segundo a revista Forbes. Conta com cerca de 150.000 funcionários em 190 fábricas diferentes espalhadas pelo mundo.

Os produtos finalizados na planta em questão são módulos de controle automotivo: no caso estudado, do ar condicionado do carro (*AC module*) e de controle eletrônico geral (*BC module*, também conhecido como BCM).

O controle eletrônico geral (BCM) coordena diversas funções em um veículo: controle dos faróis, lâmpadas internas, sensores de cinto de segurança, abertura de portas e porta-malas, vidros e travas elétricas são exemplos das mais comuns (PLUMARI, 2017).

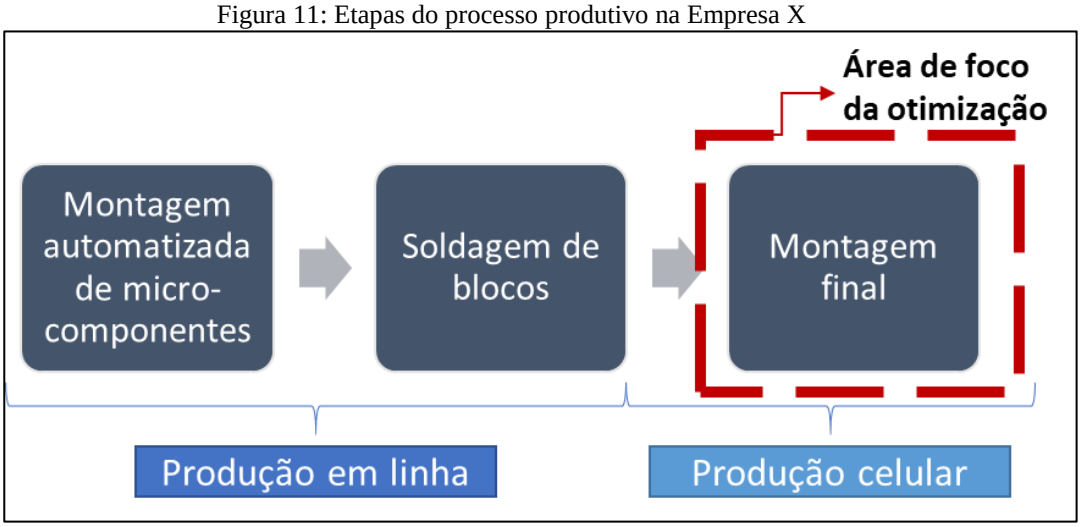
A Figura 10 apresenta um exemplo desse módulo, composto basicamente de um circuito interno e uma proteção no exterior, com estojo para conexões de cabos.

Figura 10: Exemplo de módulo BCM

Fonte: EDITION ANALYST, 2018

A planta fabril da Empresa X em questão conta com três áreas distintas onde são realizadas as três etapas principais em seu processo produtivo. O local específico estudado para a otimização se encontra dentro da área da Montagem Final, área que apresenta *layout celular*, e está na ponta final do processo produtivo, conforme visto na Figura 11.

Figura 11: Etapas do processo produtivo na Empresa X



Fonte: do autor.

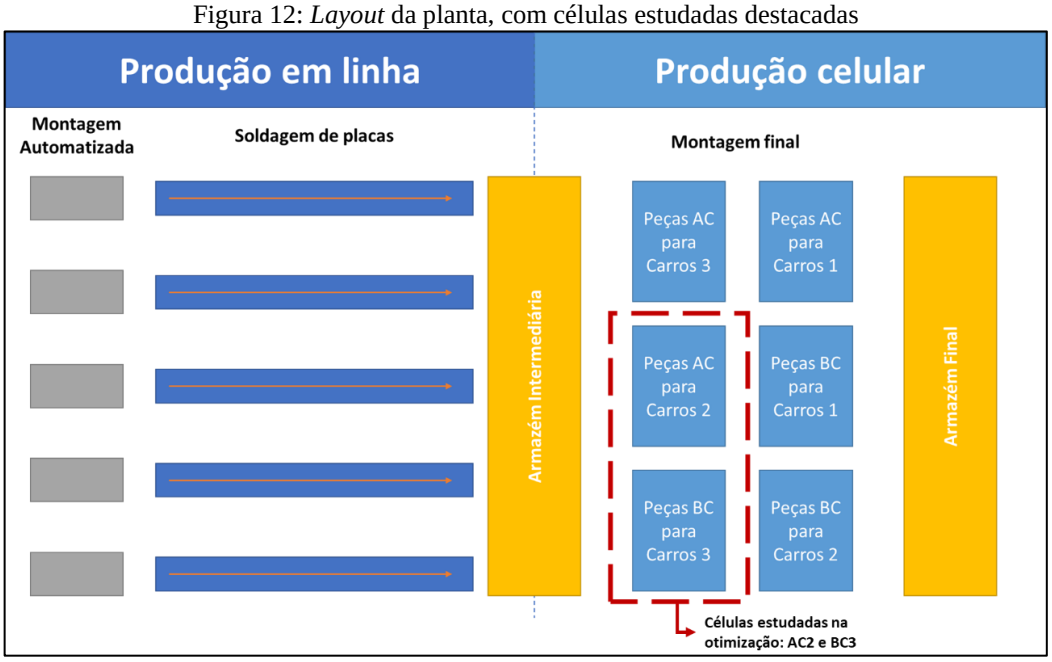
Mesmo com o foco na montagem final, é importante entender o processo produtivo geral. Os produtos, por se tratarem de componentes automotivos eletrônicos, têm como primeira etapa a criação e impressão da placa do circuito (do inglês *Printed Circuit Board*, ou *PCB*), sendo uma etapa altamente automatizada e feita em linha de produção. Nesta, a única mão-de-obra humana são os supervisores de qualidade, que analisam as informações deixadas pelos robôs de inspeção que analisam individualmente todo o circuito passado em busca de falhas. Em seguida, inicia-se a etapa de soldagem de blocos, onde é feita a montagem dos microcomponentes – como capacitores, resistores, microprocessadores, etc. Analogamente, existe uma baixa dependência de mão-de-obra humana nessa etapa também.

Por último, a etapa da montagem final, a área de foco da otimização, é onde toda a parte eletrônica encontra as partes mecânicas (chamados de "estojos e proteções"), tem seu *firmware* instalado e suas conexões são testadas.

O esquema apresentado nas Figuras 12 e 13 mostram o *layout* expandido das três áreas, apresentando as duas células sob as quais o processo de melhoria foi aplicado: a célula de módulos de ar condicionado número 2 e de controle eletrônico geral 3, sinalizadas no decorrer deste estudo de caso pelas siglas AC2 e BC3 respectivamente.

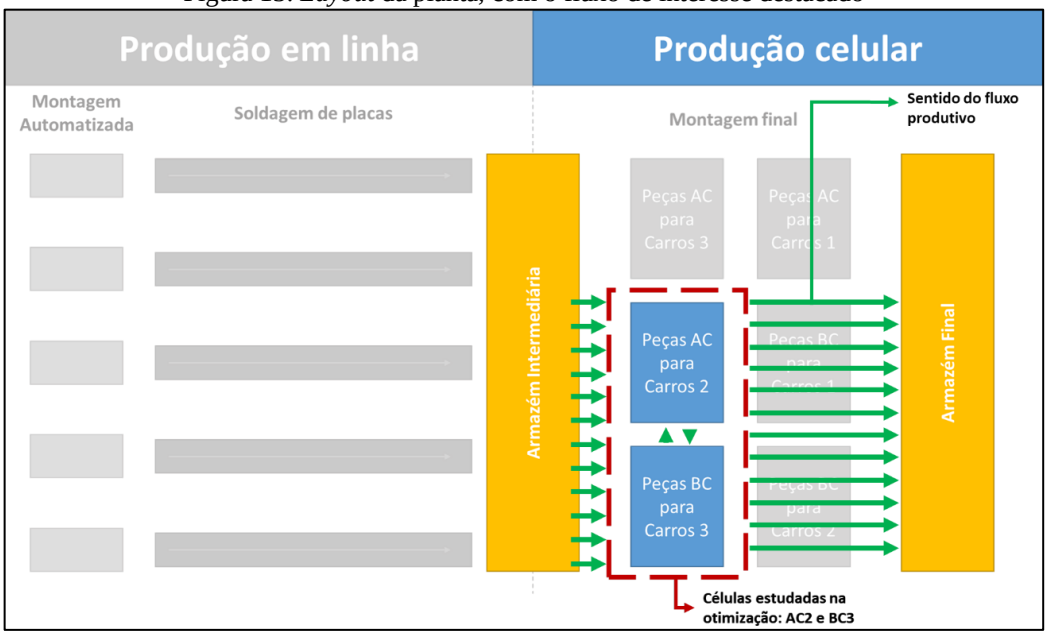
A Figura 12 mostra o *layout* todo e destaca a área de escopo em relação a toda a fábrica, enquanto a Figura 13 foca apenas nos pontos de interesse deste estudo de caso e destaca o fluxo de recebimento de materiais do estoque intermediário (formado por peças vindo da etapa de produção em linha) a serem processados dentro da linha e posteriormente levados ao armazém final como produtos acabados.

Figura 12: *Layout* da planta, com células estudadas destacadas



Fonte: do autor.

Figura 13: *Layout* da planta, com o fluxo de interesse destacado

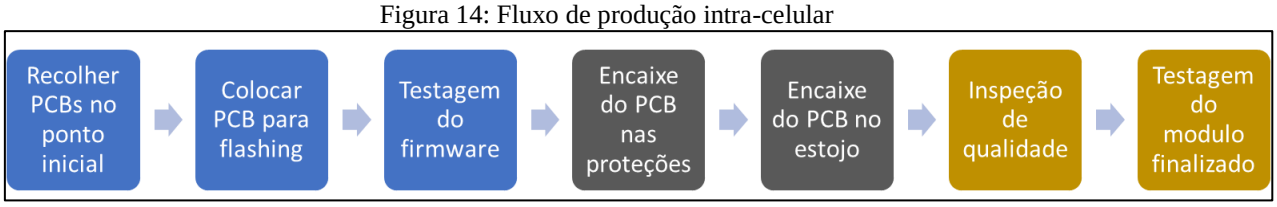


Fonte: do autor.

3.2 A ÁREA DA MONTAGEM FINAL

Nesta área, existem diversos módulos separados por famílias de produtos, como prevê a teoria da manufatura celular. Nestes locais, os módulos de ar-condicionado e *body control* (que dão nomes às células AC2 e BC3, respectivamente) são montados e finalizados por uma equipe que varia de três operários por célula. Têm estruturas de operações similares e análogas. Internamente, as células funcionam como linhas de produção independentes. No caso das AC2 e BC3, ambas apresentam três operários e mesmo fluxo de produção, apresentado na Figura 14. Os trabalhos realizados pelo primeiro operador estão em azul, pelo segundo operador em cinza e pelo terceiro operador em amarelo.

Figura 14: Fluxo de produção intra-celular



Fonte: do autor.

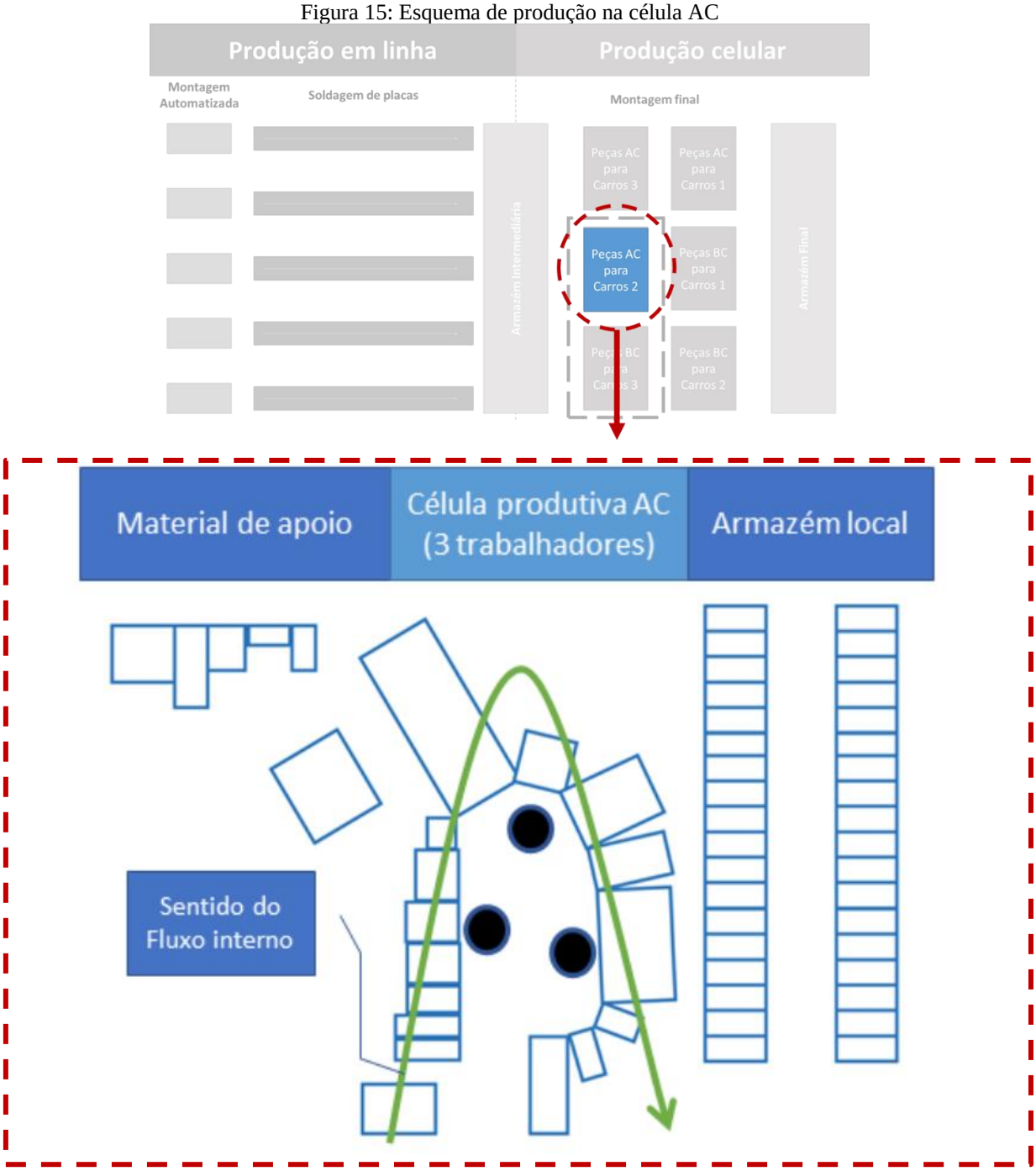
Internamente, os trabalhos se iniciam pelo Operador 1 com o recolhimento dos *PCBs* (neste ponto, as placas já estão com os microcomponentes soldados) no ponto inicial, como suprido pelos trabalhadores fora da linha de produção. Em seguida, o Operador 1 coloca esses *PCBs* em uma máquina de *flashing* – operação que instala o *firmware* adequado no produto. Por último para o Operador 1, ele coloca o *PCB* em uma máquina de testagem para garantir que o firmware foi instalado com sucesso.

Em seguida, o Operador 2, que recebe o produto, inicia um trabalho relacionado a montagem do produto. Esse *PCB* é inserido em uma proteção plástica, e, em seguida, em um estojo, tomando a forma dos módulos como conhecidos nos carros.

Por fim, o Operador 3 é responsável pela inspeção de qualidade e a testagem final do produto. Uma vez passado na inspeção e no teste, o operador as coloca nas caixas para envio ao armazém de produtos finalizados.

A representação do *layout* real da célula de módulos AC baseado na planta baixa fornecida pela Empresa X é apresentado na Figura 15.

Figura 15: Esquema de produção na célula AC



Fonte: Do autor.

Ambas as células são supridas e tem suas produções recolhidas por trabalhadores humanos, tanto a pé quanto em veículos elétricos guiados (“*tuggers*”), que dividem tarefas relacionadas às células produtivas, como suprir, auxiliar e coletar.

Os trabalhos relativos especificamente ao trabalhador a pé foram definidos com o foco para a resposta a tarefa de desenvolver um ciclo de melhoria *Kaizen*, seguindo filosofia de melhoria não-disruptiva.

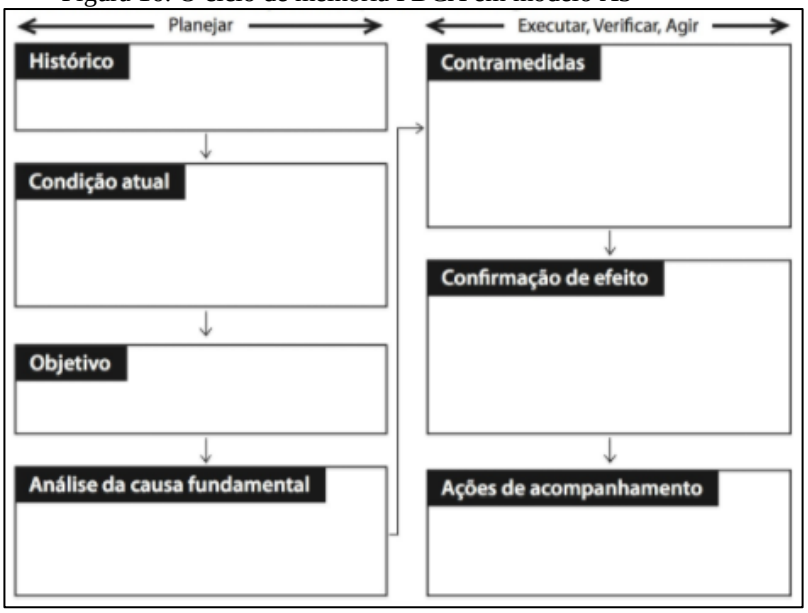
3.3 PDCA: A APLICAÇÃO DO CICLO DE MELHORIA

Uma vez definida que o Tema do *Kaizen* seria a “Melhoria da utilização do trabalho fora de célula”, o ciclo *PDCA*, - inicia-se o plano cíclico de melhoria baseado em planejar, executar, verificar, e ajustar - baseado no modelo *A3*.

Como visto na revisão literária, o ciclo *PDCA* o modelo A3 é dividido em: Tema, Histórico, Condição Atual, Objetivo, Análise de Causa Raiz, Contramedidas, Verificação e Análises do Efeito e definição de Ações de Acompanhamento. A partir do Histórico, começa o que no ciclo *PDCA* é a etapa de Planejamento. Para um bom planejamento, é necessário saber o histórico, a condição atual do trabalho estudado, tal qual quais são os objetivos do trabalho e quais são as causas fundamentais do problema detectado.

Assim, é natural que a fase de planejamento seja a fase mais extensa e importante do projeto de melhoria: como vemos na Figura 16, trata-se da metade de todo o espaço disponível no modelo A3.

Figura 16: O ciclo de melhoria PDCA em modelo A3



Fonte: SOBEK, SMALLEY (2010)

Em seguida, deve-se detalhar as ações de contramedidas a serem tomadas (entrando então na fase D do PDCA – executar, do inglês “*do*”), as ações de verificação e confirmação de efeito (entrando na fase C do PDCA – checar ou verificar, do inglês “*check*”) e, por fim, as ações de ajuste (entrando na fase final do PDCA, agir ou ajustar). O ciclo de melhoria aqui descrito seguiu esses passos e, portanto, seu estudo será organizado dessa forma.

3.3.1 *PLAN* - PLANEJAMENTO: A IDENTIFICAÇÃO DO TRABALHO

A fase de Planejamento iniciou-se com a análise do histórico e condição atual, para que os projetistas fossem capazes de formular um objetivo relacionado a melhoria e determinar a causa raiz do problema a ser analisado.

3.3.1.1 PLANEJAMENTO: ANÁLISE DO HISTÓRICO

Não se sabem os motivos exatos, mas historicamente a racionalização do trabalho desempenhado pelo funcionário fora de linha vinha sendo negligenciado pela empresa. A necessidade de garantir que os conceitos da Produção Enxuta estivessem cada vez mais próximos do determinado pela matriz – como estoques cada vez menores, tempos de ciclo cada vez mais curtos, tamanho de lotes cada vez menores e fluxo unitário de peças dentro das linhas – traziam já consideráveis desafios, como a garantia de umas mudanças de *setup* cada vez mais eficientes, voltando as energias para dentro das linhas e células.

A inexistência de um processo referencial para melhoria se mostrou então o desafio inicial: era impossível mensurar algo não estabelecido. Não existia qualquer tipo de histórico de rendimentos e/ou produtividade, descrição formal das tarefas a serem realizadas pelo funcionário fora-da-linha, tampouco qualquer forma de padronização. O trabalho é escolhido por intuição e experiência do funcionário, sem qualquer tipo de racionalização. O treinamento inicial era feito de forma *on-the-job learning*, ou seja, um funcionário que chegasse na função aprenderia empiricamente com funcionários mais experientes e de acordo com as necessidades apresentadas pelas linhas e células.

Por isso, foi identificado como tarefa mais urgente identificar o trabalho realizado, o que mostrou, por si, já sendo um primeiro ponto de melhoria. Assim, as tarefas tiveram de ser identificadas, com um acompanhamento dos funcionários e anotação das ações. Foram identificadas como as tarefas desempenhadas pelo funcionário fora da linha:

1) Suprir a linha com os racks contendo os materiais necessários buscados no inventário intermediário;
2) Organizar esses racks enquanto não entram no processo produtivo;
3) Suprir a linha com caixas vazias para a colocação de produtos acabados
4) Organizar caixas para a coleta do *tugger*;
5) Transportar racks vazios para o armazém intermediário;
6) Coletar produtos prontos e levar para o armazém final;

7) Auxiliar com o processo de 5S dentro da linha o início e final de turnos;
8) Auxiliar no processo de *changeover*, ou troca do *setup* de máquinas;
9) Checar e auxiliar na reposição dos fluidos do maquinário das células;
10) Reforçar informações dadas pelo líder da linha;
11) Verificar e organizar os chips de *Kanbans*.

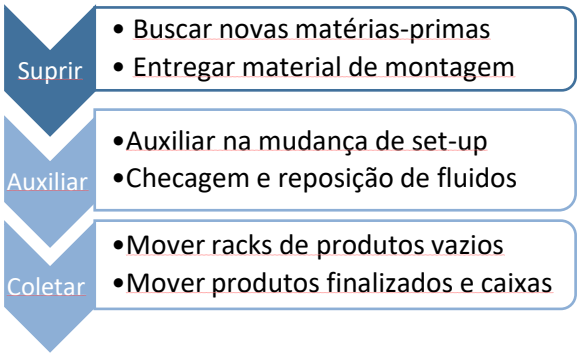
As tarefas desenvolvidas pelo funcionário fora-da-linha foram identificadas como aquelas essenciais para o bom funcionamento da célula produtiva que basicamente não são realizadas pelo guia do *tugger* (funcionário fora-de-linha que dispunha de veículo elétrico e trabalho mais racionalizado). Ao contrário do *tugger*, o instrumento a disposição do funcionário fora-da-linha era um rack móvel de entrega e retirada de produtos, mostrado na Figura 17.

Figura 17: Modelo de rack usado para transporte de materiais

Fonte: FLEXQUBE (2018)

Uma vez as tarefas sendo identificadas, foram buscadas as tarefas desempenhadas que seriam realmente necessárias ao operador e, portanto, estariam agregando valor real ao trabalho. Os projetistas as agruparam em três diferentes tipos: suprimento, auxílio e coleta, de acordo com o esquema apresentado na Figura 18.

Figura 18: As três diferentes macrotarefas do operador fora-de-linha



Fonte: Do autor.

A partir da identificação das tarefas de valor agregado, foram avaliadas as formas de interação dessas com o colaborador, chegando ao ponto da análise da situação atual.

3.3.1.2 PLANEJAMENTO – ANÁLISE DA SITUAÇÃO ATUAL

Inicia-se então a etapa de análise da situação atual sendo medidas a frequência de demanda que cada tarefa de valor agregado apresenta, além dos tempos gastos em cada uma. Foram observados durante três dias, com ajuda de um cronômetro e por cerca de duas horas cada. Os valores da frequência relativa de cada tarefa foram mostrados na Tabela 5.

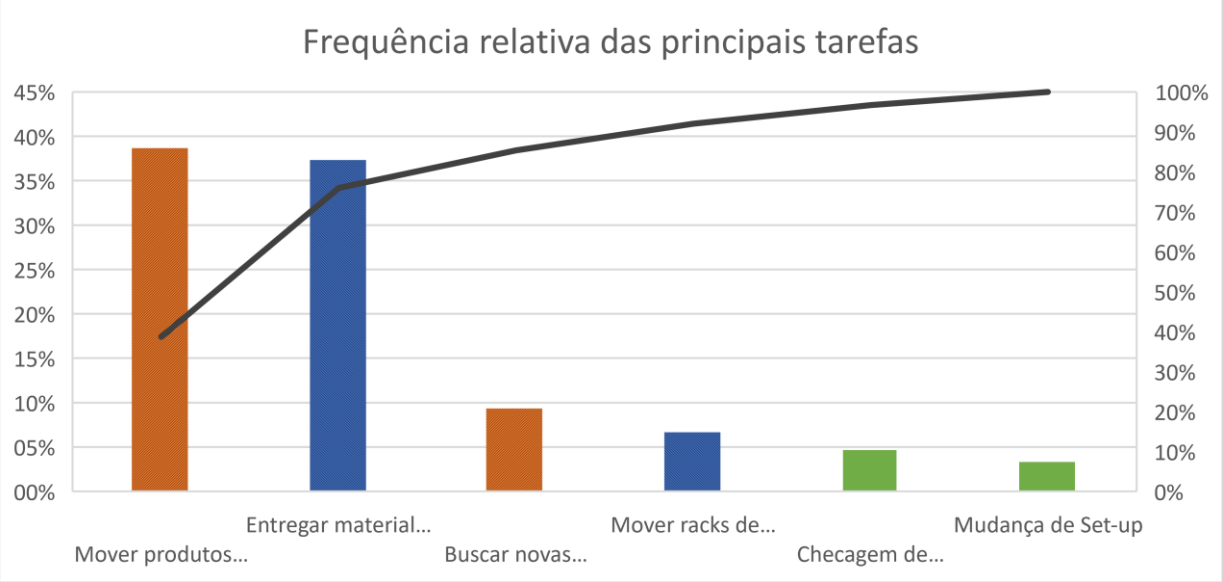
Tabela 5: Frequências observadas das principais tarefas

Tarefa	Mover produtos finalizados e caixas	Entregar material de montagem	Buscar novas matérias-primas	Checagem de fluídos	Mudança de *Setup*	Mover racks de produtos vazios
Tipo	Coletar	Suprir	Suprir	Coletar	Auxiliar	Auxiliar
Frequência	38,7%	37,3%	9,3%	4,7%	3,3%	6,7%

Fonte: Do autor.

No gráfico da Figura 19, foi adicionada uma linha de Pareto a partir da percepção de que apenas duas tarefas correspondiam a cerca de 80% de todas as atividades desempenhadas.

Figura 19: Frequência relativa das principais tarefas

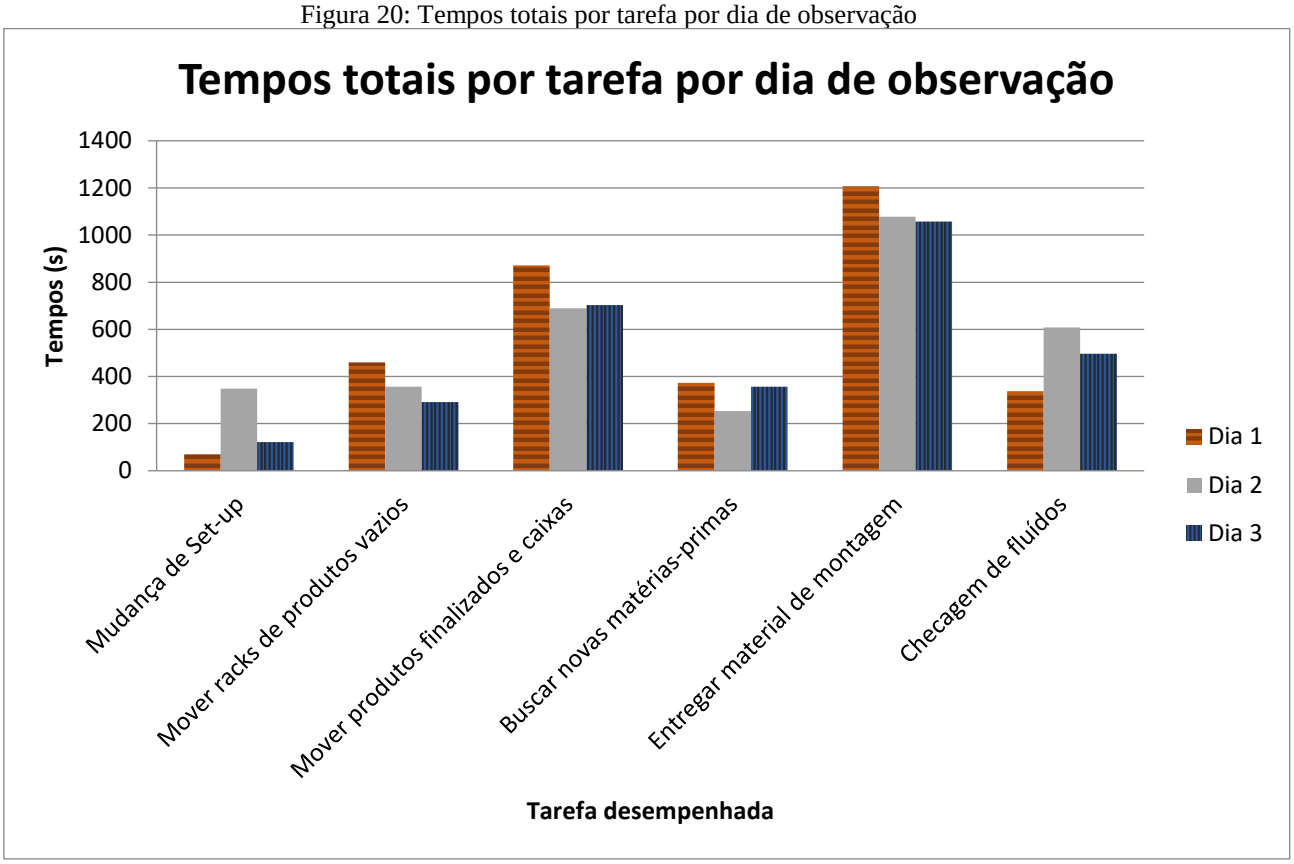


Fonte: Do autor.

Observa-se, portanto, que as tarefas definidas como suprir (em azul, entregar materiais e buscar novos materiais) e coletar (em cinza, mover produtos e mover racks) têm frequências similares e de maior relevância se comparadas às frequências das tarefas de auxílio (em verde, checagem de fluídos e mudança de *setup*), tidas como necessárias mas ocasionais – correspondendo a menos de 10% do total de atividades realizadas.

Apesar da infrequência das tarefas de auxílio, elas foram mantidas como essenciais a serem estudadas pelos tempos relativos significativamente maiores do que os das outras, como visto na Figura 20, que mostra um maior equilíbrio entre o tempo demandado em segundos por cada uma das tarefas em cada um dos três dias observados:

Figura 20: Tempos totais por tarefa por dia de observação

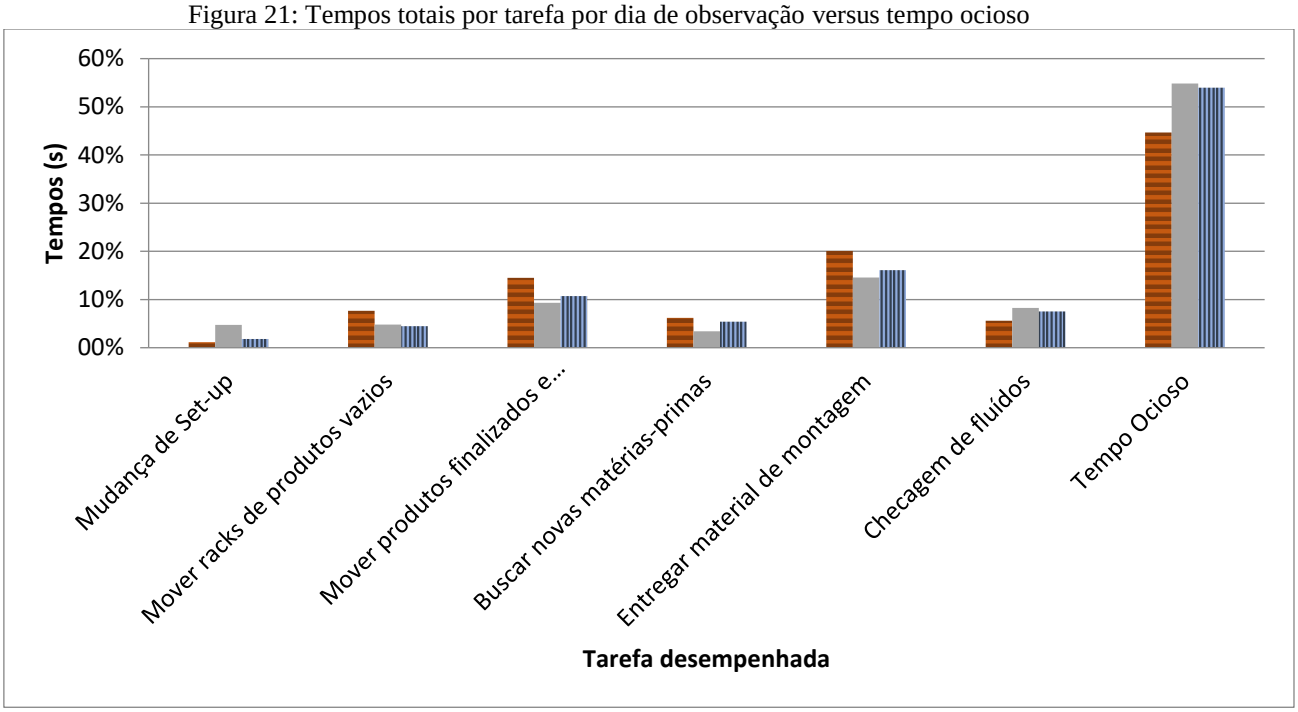


Fonte: Do autor.

A impressão subjetiva de um observador na fábrica diria que o trabalho está com um tempo ocioso adequado: a falta dos gatilhos faz com que não se saiba onde e quando o trabalhador a pé está sendo requisitado e/ou se faz necessário. Porém, não é fácil ser determinado o valor correto da utilização do trabalho. Além disso, a fábrica não possuía qualquer modelo, instrução ou padrão de trabalho para os operários fora da linha produtiva.

Por isso, após a conclusão do estudo das tarefas desempenhadas, considerou-se o tempo restante sem valor agregado como tempo ocioso, como visto na Figura 21.

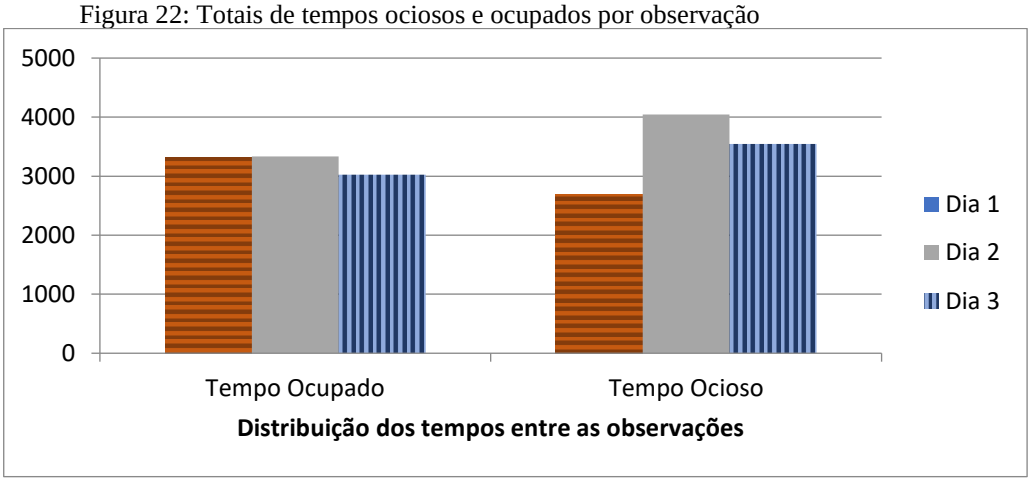
Figura 21: Tempos totais por tarefa por dia de observação versus tempo ocioso



Fonte: Do autor.

Assim, condensou-se o tempo despendido para as tarefas estudadas em um grupo denominado “tempo ocupado” e tudo o que não foi observado como necessário para as funções em “tempo ocioso”, e, conforme visto na Figura 22, observou-se uma equivalência entre eles.

Figura 22: Totais de tempos ociosos e ocupados por observação

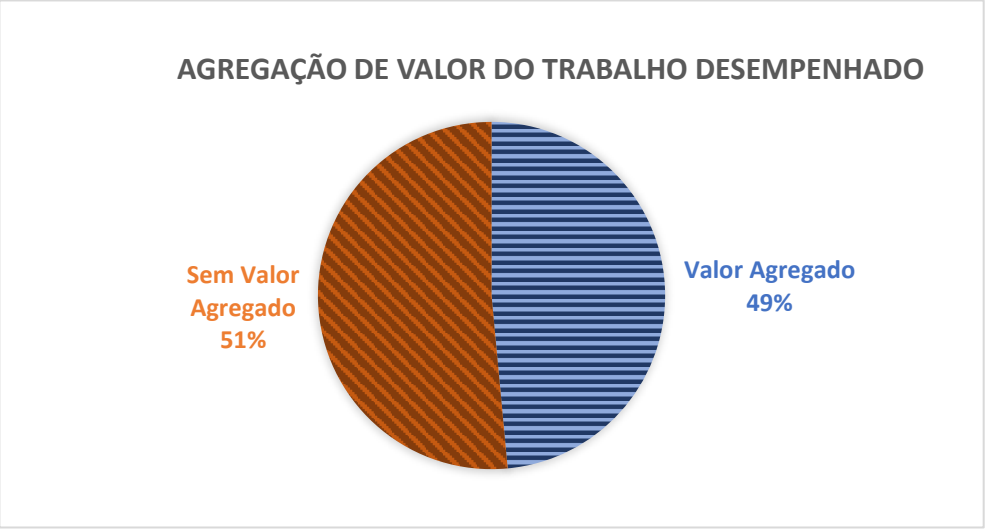


Fonte: Do autor.

3.3.1.3 PLANEJAMENTO – ANÁLISE DA CAUSA RAIZ E OBJETIVOS

Uma vez identificadas as tarefas as quais o projeto analisaria, passou-se para a busca da causa raiz do desconhecimento e da ineficiência (alto tempo sem valor agregado em sua rotina) do trabalho fora da linha. Essa ineficiência observada foi resumida na Figura 23.

Figura 23: Resumo da agregação de valor do trabalho desempenhado

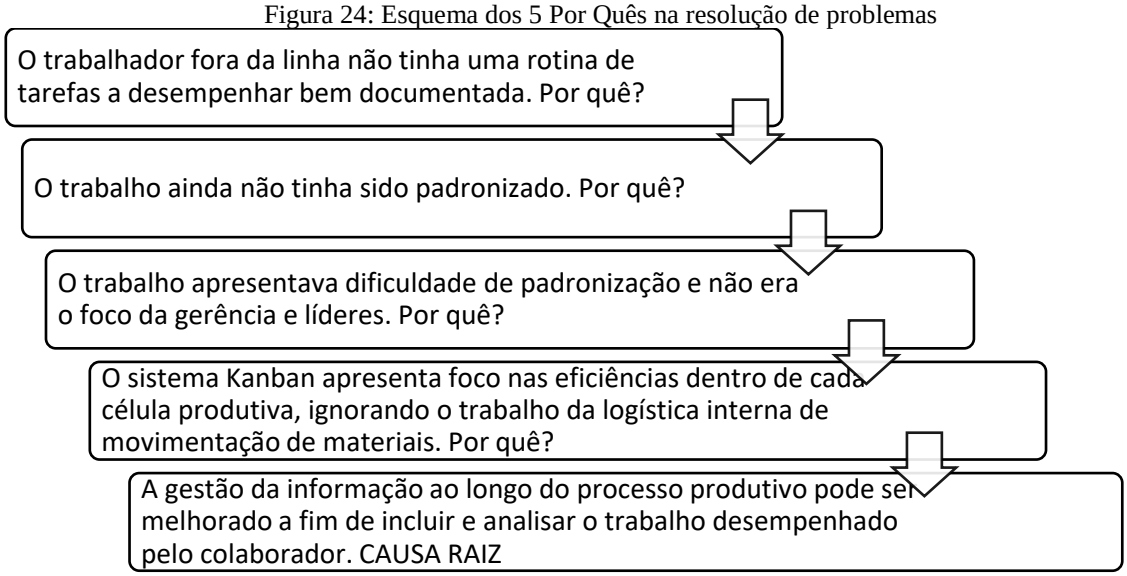


Fonte: Do autor.

Além da ineficiência descoberta, um outro fator a ser considerado se relaciona com a abordagem do fluxo de peça única: apesar de ser válido dentro da célula, fora dela esse fluxo era quebrado. Diversos modelos de produtos de mesma família eram produzidos, e as variações dos modelos impactavam diretamente a previsibilidade dessas atividades.

Com isso, um problema identificado foi a falta de gatilhos (disparadores de ação) para lidar corretamente com essa falta de previsibilidade. Foram entrevistados outros trabalhadores fora da linha e líderes de chão-de-fábrica por toda a planta e foi descoberto que o problema não era específico para o setor estudado – nenhum dos trabalhadores entrevistados afirmou ter tido contato com qualquer tipo de padronização, documentação ou formalização de seus trabalhos. Na ausência dos já mencionados gatilhos, repetitivos trabalhos eram, então, desempenhados de maneira aleatória. Prosseguindo com a etapa de planejamento, foi iniciada a etapa de definição das causas raízes. Para tanto, foram feitas perguntas seguindo os “Cinco Por Quês” visto na Figura 24.

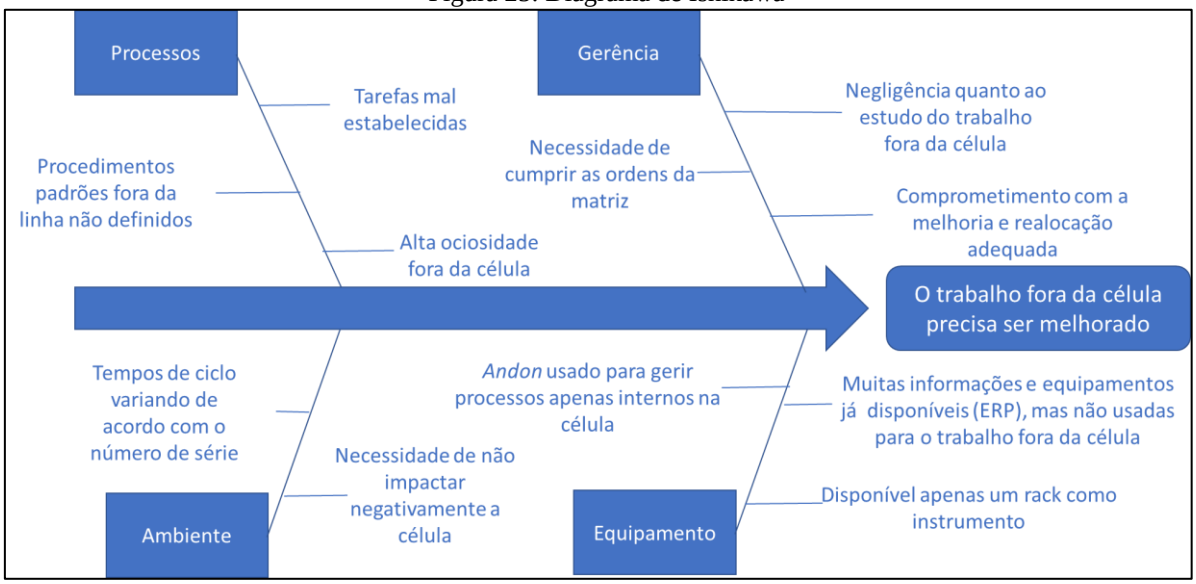
Figura 24: Esquema dos 5 Por Quês na resolução de problemas



Fonte: Do autor.

Os achados ao longo de toda a fase de planejamento foram então compilados em um diagrama de Ishikawa, apontando para a necessidade de melhoria da organização fora da linha e dividido em Processos, Gerência, Ambiente e Equipamento, apresentado na Figura 25.

Figura 25: Diagrama de Ishikawa



Fonte: Do autor.

Em “Gerência”, reforça-se a falta de estudos prévios sobre este trabalhador, mas a perspectiva de necessidade de se avançar nessa questão até para satisfazer ordens da matriz de que o trabalho seja cada vez mais eficiente em todas as esferas.

Em “Equipamento”, vale frisar que apenas dentro das células haviam *Andons* – painéis luminosos com informações importantes para os operadores, como tempo de ciclo atual, peças sendo produzidas, status da linha (ou seja, se ela está em operação ou fora dela), necessidades de mudança de *setup*, tempo de descanso e aplicação de 5S, entre outras informações. Além disso, existiam diversos dispositivos que podiam ser usados para benefício da gestão de informações compartilhada com o funcionário fora da célula sem causar aumento de movimentações por parte dos operadores dentro da linha.

Nesse sentido, em “Ambiente”, vale ressaltar a necessidade de que a solução encontrada não deve impactar de maneira alguma no bom funcionamento atual dentro da célula: é necessário que o funcionário fora dela consiga se adaptar mesmo com os tempos de ciclo variando de acordo com os diferentes *setups*. Já em “Processos”, a falta de padrões e alta ociosidade foi amplamente discutido e estudado.

Dado que a causa raiz definida estava fortemente relacionada a gestão das informações e compartilhamento dessa gestão com o funcionário fora da linha, a etapa seguinte do ciclo PDCA – ou seja, qual a contramedida a ser tomada nesse caso – levou foco a como garantir um fluxo de informações melhor que integrasse o funcionário fora da linha e, juntamente com a padronização de trabalho desenvolvida, possibilitasse o estudo de suas eficiências.

3.3.2 *DO* - EXECUÇÃO: CONTRAMEDIDAS

A fim de que fosse melhorado o valor agregado do funcionário fora da linha, foi então proposto um sistema de escaneamento e *Andon* que permitisse que o funcionário se guiasse por eles, mostrando a tarefa que está requerendo atenção no momento e em qual célula, número de peças restantes a serem trabalhadas e totais (a depender do tipo de tarefa: tarefas como mudança de *setup*, por exemplo, teriam esse campo vazio) e, baseado no tempo de ciclo do produto em questão, o tempo estimado até a conclusão da tarefa. Para tal, a padronização do trabalho se fez necessária.

3.3.2.1 CONTRAMEDIDAS – PADRONIZAÇÃO E TREINAMENTO

Como visto na revisão literária e defendido por Liker e Meier (2007), as regras na literatura para a documentação dos processos não são rígidas nem seguem uma receita pré-definida, mas deve-se buscar entender o trabalho como um todo – incluindo as etapas de movimentação e espera. Assim, cada uma das seis tarefas principais foi analisada detalhadamente (incluindo ações tomadas, locais das ações, observações importante e nível de prioridade) seguindo o *layout* mostrado na Tabela 6.

Tabela 6: Modelo do manual de tarefas

[NOME DA TAREFA]		
O que fazer?	**Onde fazer?**	**Observações**
Ação 1	Local 1	Observação 1
Ação 2	Local 2	Observação 2
Ação N	Local N	Observação N
Prioridade: descrição do impacto da falha da tarefa na linha como um todo.		

Fonte: Do autor.

Com isso, foi possível criar um manual completo das tarefas desempenhadas, com diversos benefícios - servindo não só como base para as necessidades do *Andon*, mas também como auxílio para a definição do processo referencial e para treinamento de novos funcionários.

Um quadro desse manual (em inglês) pode ser vista na Figura 26.

Figura 26: Manual das tarefas

SUPPLY MAGAZINES		
What?	Where	Observation
Check the need of new PCBs.*	Kanban (Andon Screen)	
Check Kanban to see which is the next product.	Finished goods area.	
Remove poker chip corresponding to the product.	Poker chip board (AC-2 WIP).	No chips should ever leave the AC-2 WIP area.
Take entire cart.	The local in the WIP indicated by the poker chip.	
Place poker chip on corresponding hook number on board.	Poker chip board (AC-2 WIP).	
Deliver entire rack.		
Scan each magazine's Kanban.*	Beginning of the inline area.	
Priority: High - (high impact in line uptime)		

Fonte: Empresa X

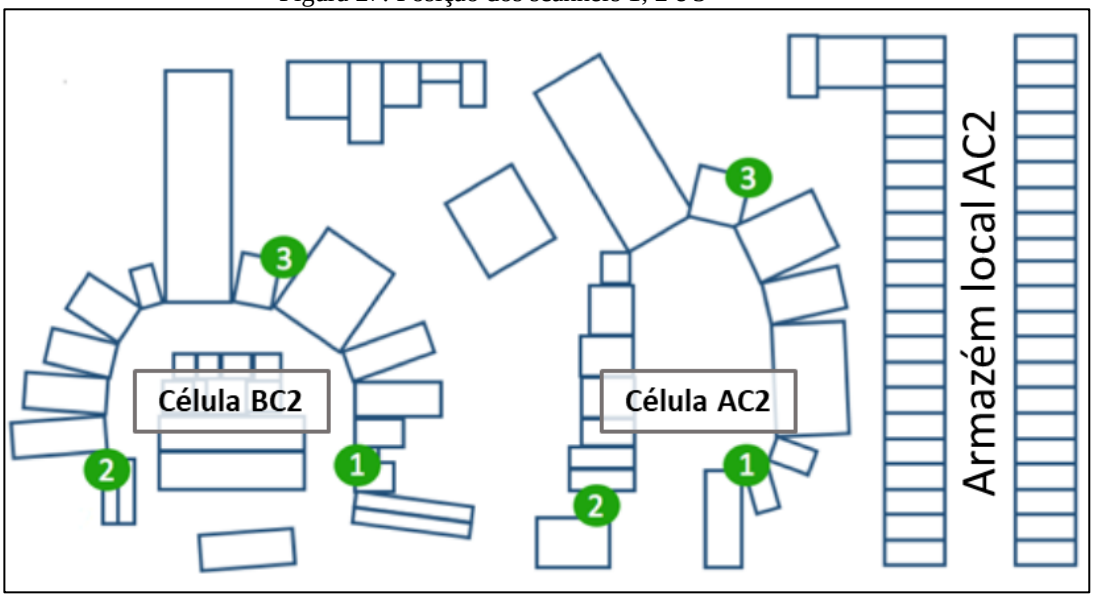
3.3.2.2 CONTRAMEDIDAS – ANDON E GATILHOS

As fichas *Kaban* possuem informações importantes, como código do produto, número de série (*part number*) e quantidade existente onde está contido. Assim, a informação é suficiente para o desenvolvimento dos gatilhos.

Dentro de cada célula já existiam leitores de *QR codes* (códigos bidimensionais capazes de carregar mais informações que o tradicional código de barras) implantados na última etapa do processo interno: uma vez finalizada, cada produto é escaneado individualmente, a fim de prover a informação sobre o tempo de ciclo atual e confirmar que o modelo produzido está de acordo com o previsto no *Kanban*. Nem todas as linhas possuem *scanners* da mesma forma, o que pode ocasionar um pequeno investimento extra, a ser discutido posteriormente.

Assim, o sistema de leitor de *QR codes* poderia também fornecer entradas de informações importantes para o sistema de gatilhos. Já que esses códigos são capazes de informar o número de componentes e tipos deles, o processo tornaria mais previsível em termos de início e término do processamento intracelular, assim como tornaria mais fácil identificar possíveis pontos de falta de serviço e peças. As posições dos *scanners* são mostradas na Figura 27.

Figura 27: Posição dos scanners 1, 2 e 3



Fonte: Do autor.

Scanner 1 – Fica dentro da célula, na posição final da produção;

Scanner 2 – Fica dentro da célula, na posição inicial da produção;

Scanner 3 – Fica na área de reposição de componentes mecânicos: estojos e proteções.

O *software* embarcado no *Andon* seria responsável pelo tratamento dos dados recebidos, calculando tempos estimados e mostrando na tela. A lógica por trás da construção do software é detalhada na Tabela 7 e na Tabela 8.

Tabela 7: Variáveis alimentadas pelos scanners

Scanner	**Variável recebida no *software***
1 (posição final)	A = número de produtos finalizados
2 (posição inicial)	B = tipo de produtos C = número de *PCBs*
3 (componentes mecânicos)	D = número de estojos E = número de proteções

Fonte: Do autor.

Tabela 8: Algoritmos e respostas do *Andon*

Scanner	**Texto no Andon**	**Algoritmo**
1	Produtos finalizados	O tempo limite é dado na condição: Se A = “Capacidade da Caixa”
2	Troca de *Setup*	O tempo limite é dado na condição: Se B ≠ “Próximo Produto”
2	*PCB*s restantes = (C – A) / C	Calcula o tempo restante a partir de C – A = “*PCBs* restantes”
3	Estojos restantes = (D – A) / D	Calcula o tempo restante a partir de D – A = “Estojos Restantes”
3	Proteções restantes = (E – A) / E	Calcula o tempo restante a partir de E – A = “Proteções Restantes”

Fonte: Do autor.

Com a padronização definida, o *Andon* proposto, então, facilitaria a organização temporal, mostrando em ordem de término mais próximo para o término mais distante, mostrando as variáveis na tela:

[Célula][Tarefa] [Peças atuais] / [Total de peças] [Tempo restante]

Célula: Variando de acordo com a célula em questão, essa variável definiria cor também para facilitação ergonômica da identificação visual;

Tarefa: Nome da tarefa a ser desempenhada;

Peças atuais: mostra o número na fila para entrarem em processo;

Total de peças: total de peças contidas na caixa da mesma;

Tempo restante: baseado no tempo de ciclo atual da linha.

Assim a tela do *Andon* proposto apresenta o visual mostrado na Figura 28.

Figura 28: Exemplo da tela do *Andon*

AC2: Estojos Restantes	10/50	2min40s
BC3: Produtos finalizados	12/30	2min50s
BC3: Auxiliar setup	(---)	3min00s
AC2: Proteções restantes	70/100	10min00s
BC3: Estojos restantes	45/60	22min50s

Fonte: Do autor.

Em resumo, o software trata informações já existentes no sistema da empresa de forma necessária a definir as prioridades de ação, levando para o monitor *Andon* informações importantes para o operador fora da célula ser capaz de desempenhá-las sem que haja tempo ocioso.

3.3.3 *CHECK* – VERIFICAÇÃO: ANÁLISE DE RESULTADOS

Devido à natureza do *Kaizen* de mudanças graduais e com impacto financeiro mínimo, a verificação deve ser feita inicialmente através de simulação. No caso do projeto, optou-se por utilizar o software de simulação ARENA.

3.3.3.1 VERIFICAÇÃO: PREMISSAS DA SIMULAÇÃO

Com a expectativa de que o modelo fosse capaz de analisar de maneira mais certeira a agregação de valor e contar as disfunções da linha causadas por possíveis falhas do funcionário fora da linha, foram pensados três diferentes cenários, apresentados na Tabela 9. A ideia por trás da melhoria é poder aumentar a eficiência e utilização sem penalizar a linha.

Tabela 9: Cenários a serem verificados

Cenário	Descrição	Esperado
1 – Aleatório	Tarefas aleatórias, simulando o caso hipotético de ser um funcionário iniciante sem qualquer tipo de treinamento.	Alta disrupção Alta ociosidade
2 – Condição atual	Tarefas feitas de acordo com a experiencia do funcionário, mas sem rotinas, padrões estabelecidos ou auxílios visuais.	Baixa disrupção Alta ociosidade
3 – Condição objetivo	As tarefas são feitas de acordo com os gatilhos definidos na tela *Andon* e de acordo com as prioridades definidas na padronização.	Baixa disrupção Baixa ociosidade

Fonte: Do autor.

A fim de se encontrarem dados mais precisos sobre as tarefas com e sem agregação de valor, as informações foram separadas em três, como mostrado na Tabela 10: as já existente no sistema da empresa e que demandariam levantamento para a construção do modelo, as medidas pelos projetistas para a construção do modelo, e as levantadas do sistema para a validação do modelo, ou seja, garantir que o modelo esteja fiel ao cenário real.

Tabela 10: Dados necessários para o modelo

Tipo de dado	Informações
Dados levantados para a construção do modelo	- Tempo de ciclo; - Dados históricos de *setup*; - Dados históricos de produção; - Previsão de demanda;
Dados medidos para a construção do modelo	- Distância entre as instâncias das tarefas; - Frequência de demanda da tarefa.
Dados levantados para a validação do modelo	- Produção diária media; - Dados históricos do *OEE*.

Fonte: Do autor.

3.3.3.2 VERIFICAÇÃO: DADOS MEDIDOS PARA A CONSTRUÇÃO DO MODELO

Como a frequência das tarefas, necessário para a construção do modelo, já havia sido medida ao longo do planejamento, a distância entre os locais de realização das mesmas passou a ser alvo de estudo. Foi então necessário mapear os locais onde os trabalhos eram desempenhados. Assim, as seis tarefas iniciais foram duplicadas (uma para cada linha estudada) para refletir a situação de cada linha, além de uma tarefa relativa ao auxílio geral na organização para cada uma das linhas (uma tarefa já prevista no manual dentro do manual e existente em todos os tipos, sendo necessária sua criação separada para fins de simulação) e uma tarefa extra para contagem de tempo de valor não-agregado. A Tabela 11 mostra o número atribuído a cada tarefa.

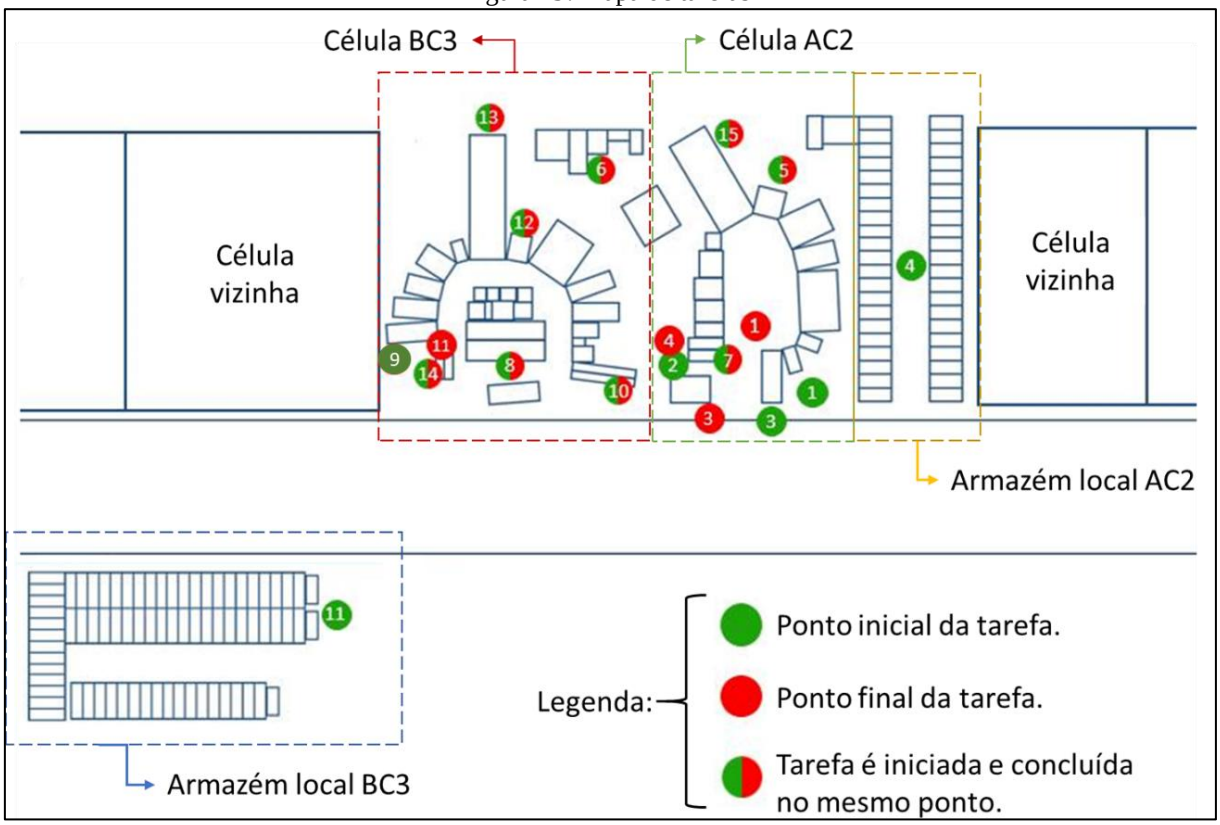
Tabela 11: Número atribuído a cada tarefa

Tipo	Tarefa	Número AC2	Número BC3
Auxiliar	Mudança de *Setup*	1	8
Coletar	Mover racks de produtos vazios	2	9
Coletar	Mover produtos finalizados	3	10
Suprir	Buscar novas matérias primas	4	11
Suprir	Entrega de estojos e proteções	5	12
Auxiliar	Checagem e reposição dos fluidos	6	13
Extra	Geral / Auxílio na organização	7	14
Extra	Valor não agregado	15	15

Fonte: Do autor.

Na Figura 29, observam-se os locais de início e término de cada tarefa, enquanto a Tabela 12 mostra os tempos médios obtidos nas células AC2 e BC3. Para fins de simulação, usou-se a premissa de tempos determinísticos. Note que as tarefas de coleta 2 e 9 (mover racks de produtos vazios) requer o transporte desses racks vazios até o armazém intermediário, uma localidade consideravelmente distante, sendo esse o motivo dos tempos saindo dessas tarefas, conforme visto na Figura 9, serem maiores que os demais. Da mesma forma, a tarefa 11 tem seu início em um local mais distante que o normal, visto que o armazém local da célula BC3 não está imediatamente ao lado da célula como visto no caso da AC2. Assim, as tarefas indo para a tarefa 11 mostram um tempo maior que o esperado. A Tarefa 15 teve seu local considerado em uma área de descanso.

Figura 29: Mapa de tarefas



Fonte: Do autor.

Tabela 12: Matriz tempo de deslocamento em segundos

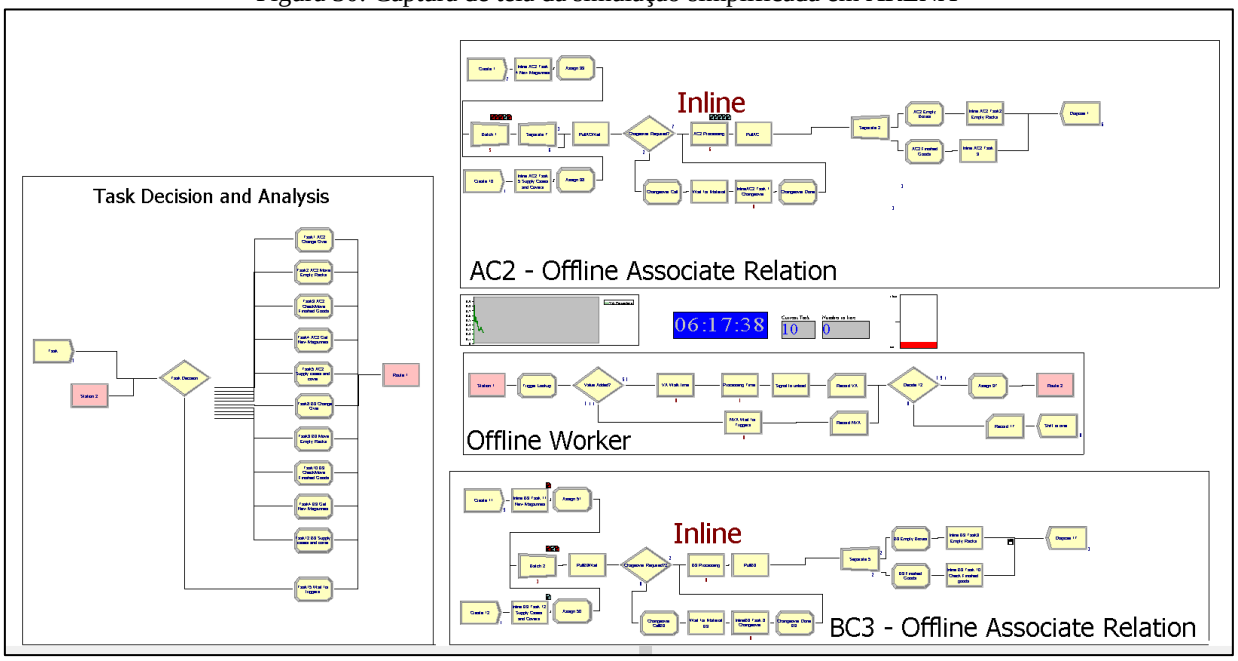
Em direção a / Saindo de	Tar 1	Tar 2	Tar 3	Tar 4	Tar 5	Tar 6	Tar 7	Tar 8	Tar 9	Tar 10	Tar 11*	Tar 12	Tar 13	Tar 14	Tar 15
Tarefa 1		8	6	12	27	15	8	10	14	6	29	15	23	8	14
Tarefa 2*	46		48	47	53	67	52	48	47	45	73	51	57	51	45
Tarefa 3	6	5		10	20	12	6	7	11	6	24	11	21	14	13
Tarefa 4	10	16	11		7	22	17	17	15	12	34	18	24	23	8
Tarefa 5	16	20	18	7		13	21	20	25	17	40	15	18	25	4
Tarefa 6	15	6	11	21	12		7	13	16	10	29	2	11	15	7
Tarefa 7	9	1	5	14	21	7		8	11	3	25	7	15	10	18
Tarefa 8	11	7	7	18	22	12	6		3	5	18	13	20	5	19
Tarefa 9*	47	51	48	47	55	69	53	50		45	73	50	58	49	49
Tarefa 10	6	3	4	13	17	9	4	5	7		24	9	18	9	9
Tarefa 11	24	12	12	25	30	22	14	5	4	11		17	24	3	23
Tarefa 12	12	10	11	17	15	2	6	11	17	7	28		8	14	10
Tarefa 13	19	22	17	23	19	9	15	22	17	23	32	7		20	14
Tarefa 14	21	9	11	22	24	18	11	3	1	9	15	13	20		22
Tarefa 15	15	13	18	8	4	6	17	18	21	14	34	9	12	22	

Fonte: Do autor.

3.3.3.3 VERIFICAÇÃO: CONSTRUÇÃO E LÓGICA DO MODELO

Finalmente, o modelo de simulação foi desenvolvido e, como ilustrado na captura de tela do *software* Arena (Figura 30, versão simplificada), dividido em 4 partes. Essas partes são explicadas a seguir:

Figura 30: Captura de tela da simulação simplificada em ARENA



Fonte: Do autor.

1) *Task decision and analysis* – etapa em que o modelo busca simular a forma do operador de se dirigir ao local da próxima tarefa. Essa decisão segue uma lógica diferente em cada um dos cenários descritos para a simulação, como visto na Tabela 13.

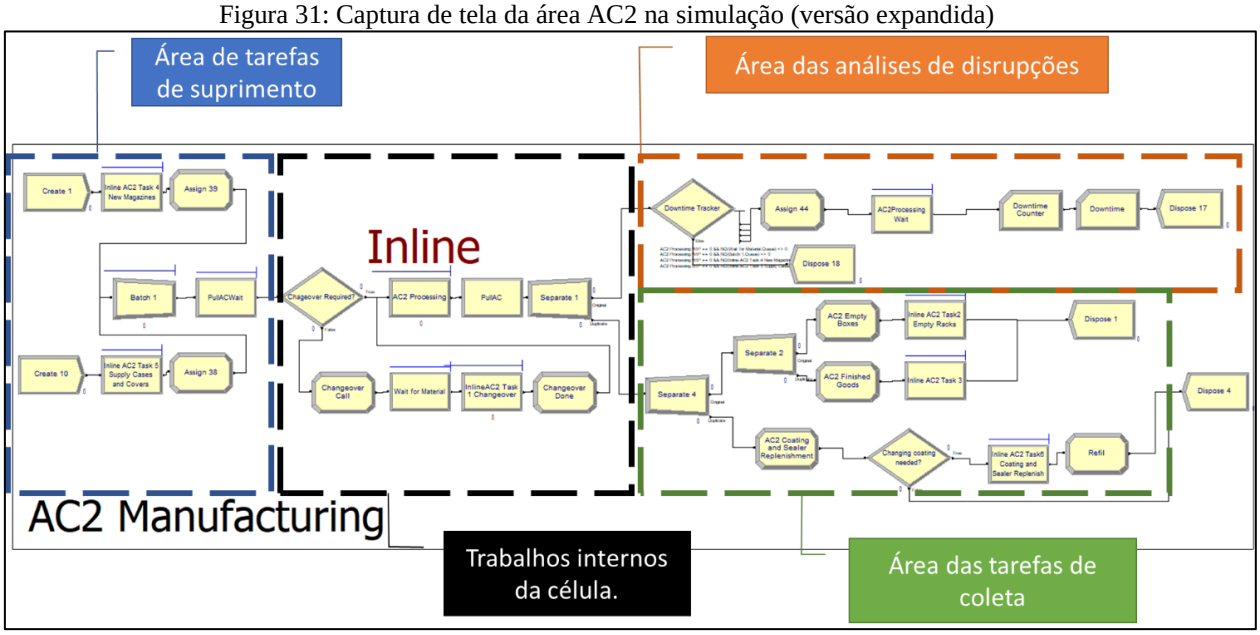
Tabela 13: Lógica de decisão por cenário

Cenário	Descrição
1 – Aleatório	A distribuição das tarefas no seletor é feita de maneira aleatória;
2 – Condição atual	A distribuição das tarefas no seletor é feita de acordo com as observações das frequências atuais estudadas anteriormente;
3 – Condição objetivo	A distribuição das tarefas no seletor é feita de acordo com a resposta dada pelo *Andon* no sistema de gatilhos.

Fonte: Do autor.

2) *AC2 – Offline Associate Relation* – etapa em que são simuladas todas as interações do funcionário fora da linha com a linha, desde as tarefas de suprimento, auxílio (juntamente com o que ocorre dentro da linha) e tarefas de coleta. A Figura 31 mostra uma captura de tela da versão expandida da simulação nessa área.

Figura 31: Captura de tela da área AC2 na simulação (versão expandida)

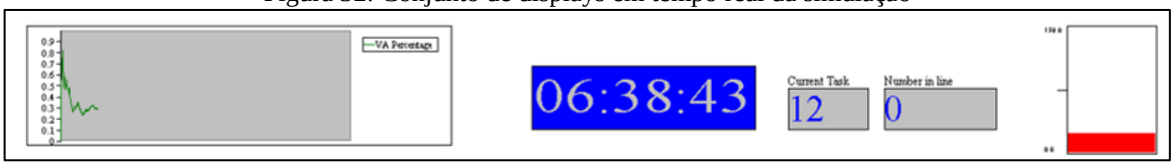


Fonte: Do autor.

3) *BC3 - Offline Associate Relation* – Análogo a etapa anterior, aplicado a célula BC3.

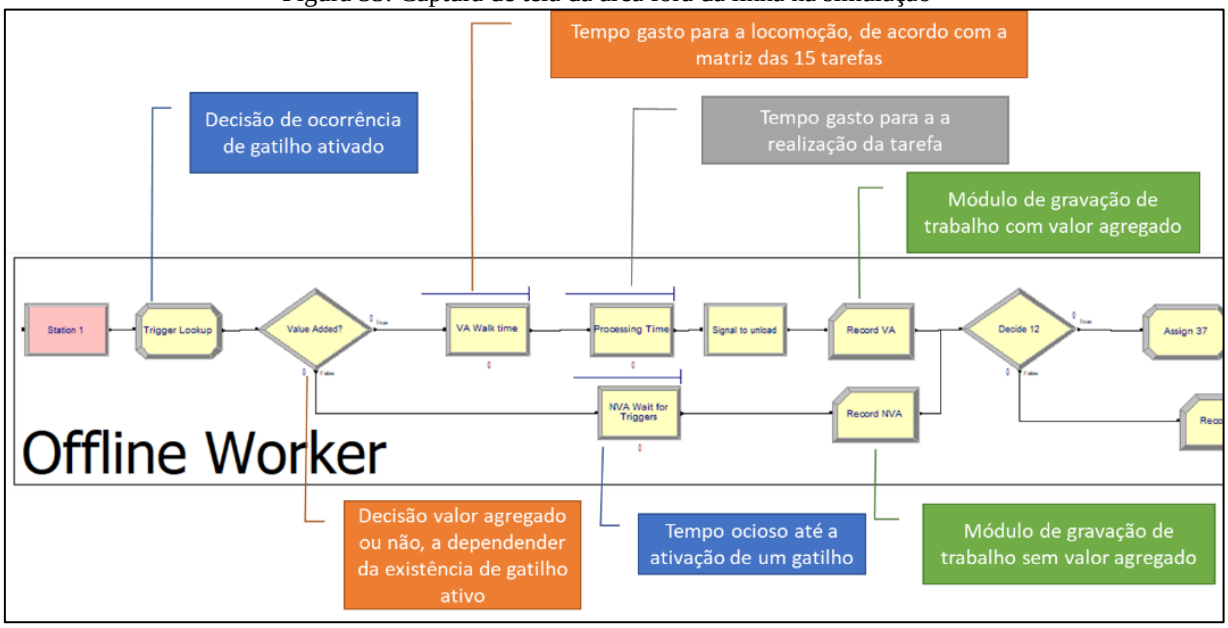
4) *Offline worker* – Auxiliado por um conjunto de displays na simulação: gráfico em tempo real de valor agregado, relógio digital, tarefa sendo realizada no momento e número de entidades total em processo como visto na Figura 32, essa etapa que avalia as decisões do operador e define se a tarefa é necessária no momento, analisando tempos de deslocamento e de realização das tarefas. Assim, essa etapa faz as análises de agregação de valor e de quanto tempo está sendo "desperdiçado", como visto na Figura 32.

Figura 32: Conjunto de displays em tempo real da simulação



Fonte: Do autor.

Figura 33: Captura de tela da área fora da linha na simulação



Fonte: Do autor.

Uma vez conhecidas as formas de funcionamento do modelo, passou-se a estudar as informações extraídas da simulação e executar análises de sensibilidade para verificar o comportamento sob diferentes cenários.

3.3.3.4 INFORMAÇÕES OBTIDAS E ANÁLISES DE SENSIBILIDADE

O modelo no cenário 2 (condição atual) retornou informações de utilização de trabalho semelhantes às encontradas na medição do trabalho real como visto na Tabela 14: enquanto as medições reais apresentaram um valor agregado do trabalho médio de 49% para três observações, na simulação esse valor variou entre 46,7% e 51,4% entre as replicações para a linha funcionando de acordo com o OEE na condição atual.

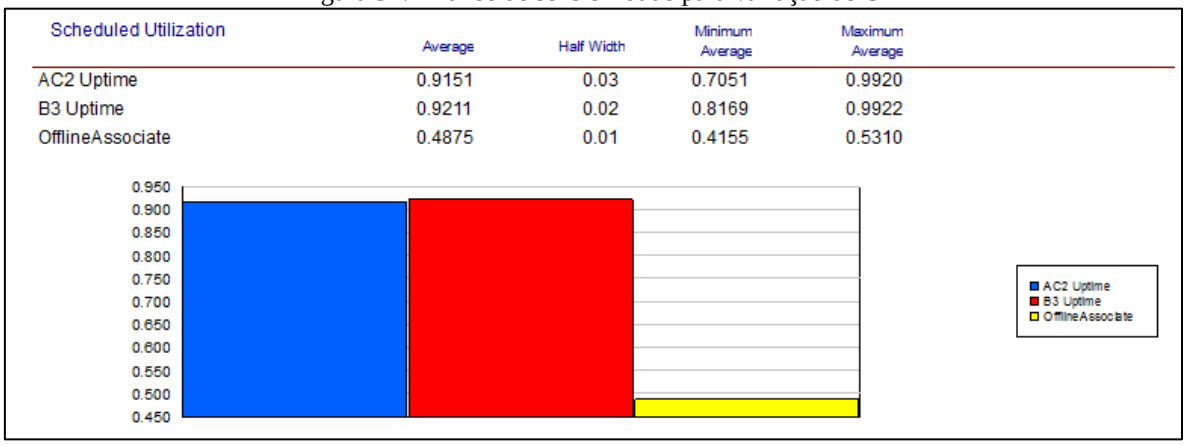
Tabela 14: Médias de agregação de valor na simulação

	Média mínima	**Média**	**Média máxima**
Valor Agregado	273	290	301
Total	585	585	585
% Valor Agregado	**46,7%**	**49,6%**	**51,4%**

Fonte: Do autor.

Além disso, para avaliar casos extremos, uma análise de sensibilidade foi feita para mensurar como a utilização do funcionário fora de linha se correlacionaria com a variação do OEE da linha. Nos casos em que a linha apresentava baixo OEE (70%), o funcionário apresentava utilização média de 41,55%. Para o caso extremo de utilização de 99%, a utilização média máxima do funcionário não passou de 53%, como visto na Figura 34.

Figura 34: Análise de sensibilidade para variação de OEE



Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
AC2 Uptime	0.9151	0.03	0.7051	0.9920
B3 Uptime	0.9211	0.02	0.8169	0.9922
OfflineAssociate	0.4875	0.01	0.4155	0.5310

Fonte: Do autor.

Outra análise de sensibilidade importante feita foi a de se adicionarem linhas extras fictícias a serem servidas pelo funcionário fora da linha para averiguar a ocorrência de interrupções, já que não ocorriam mesmo no caso 1 (aleatório), dado o alto nível de ociosidade. Os resultados obtidos são mostrados na Tabela 15.

Tabela 15: Análise de sensibilidade para variação de linhas servidas

Linhas	**Impacto negativo no tempo de ciclo por erro do trabalhador a pé (100 replicações)**
Cenário atual	0 ocorrências
Uma linha extra	0 ocorrências
Duas linhas extras	27 ocorrências

Fonte: Do autor.

As linhas extras foram simuladas “espelhando” as distâncias de AC2 e BC3. Notou-se igualmente pouco impacto tanto no cenário atual quanto na alocação do funcionário em uma linha extra, mas um impacto significativo ao alocá-lo em duas linhas extras.

3.3.4 *ADJUST* – AJUSTAR: FOLLOW-UP

A etapa de ajustes é, ao mesmo tempo, o fim e o início de um novo ciclo, com novo tema. Assim, para a construção é levado em conta também o que será discutido na análise dos resultados, mas também os pontos de melhoria encontrados ao longo do projeto.

Com isso, faz parte do acompanhamento de ajuste a alocação de trabalho correta pela gerência. Como visto pelos modelos, é possível alocar o operário em uma linha a mais sem perda de produtividade, mesmo em casos de OEE extremamente alto. Além disso, os gestores ganham agora uma linha de base, um processo referencial para melhorias futuras na racionalização do trabalho exercido fora da linha. Além disso, indicou-se para os gestores o avanço nas formas do estudo do funcionário fora de linha, agregando as informações do sistema de administração da fábrica no seu trabalho.

Um dos possíveis pontos de melhoria encontrados com relação aos gatilhos foi o fato de alguns componentes virem com informações de quantidades erradas no *Kanban*. Isso acontece pois na etapa intermediária (soldagem de blocos) podem ser geradas peças com problemas de qualidade que são retiradas da linha, mas essa informação não é ainda carregada pelo *Kanban.* Assim, um teclado numérico acoplado ao Scanner 2 faria o operador mais próximo capaz de fazer correções manuais aos números. Isso já foi incorporado à versão final do manual de tarefas. Sendo assim, mostra-se que o estudo fora da linha abriu espaço até mesmo para uma pequena melhoria dentro da linha, ao facilitar a gestão da taxa de qualidade.

Ainda sobre o *Kanban*, o setor de tecnologia da informação da planta está desenvolvendo um sistema de melhorias para o *Kanban*, transformando-o em mais digital (que hoje conta com fichas físicas). Assim, o projeto foi também compartilhado com o setor de tecnologia da informação devido a facilidade de absorção do projeto descrito nesse Estudo de caso ao sistema *Kanban*, melhorando ainda mais profundamente o sistema de gestão de informações com o funcionário fora da linha.

Por fim, foi visto ainda que o *tugger* (funcionário também de movimentação de materiais, mas que guia um veículo elétrico), apesar do grau maior de racionalização do trabalho, poderia também se beneficiar o sistema de *Andons* desenvolvido para o funcionário fora da linha: hoje, suas tarefas são desenvolvidas segundo uma rota padronizada. Com a integração proposta das informações, essas rotas poderiam variar dinamicamente de acordo com a produtividade da linha.

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O projeto, ao percorrer a cronologia proposta pelo modelo PDCA A3, tornou-se didático e trouxe novos conhecimentos úteis a empresa em cada uma das etapas. A etapa de planejamento mostrou um comprometimento com a melhoria por parte da gestão e expôs diversas condições a serem trabalhadas, como processos não definidos, a alta ociosidade do trabalhador fora célula aliado a um sistema *Andon* que não o integra, mostrando a necessidade de aprimoramento da organização do trabalho. Na execução, a necessidade de integração de informações trouxe uma nova forma de tratamento de dados de forma a inserir o trabalho fora da linha, além de uma documentação completa de suas tarefas.

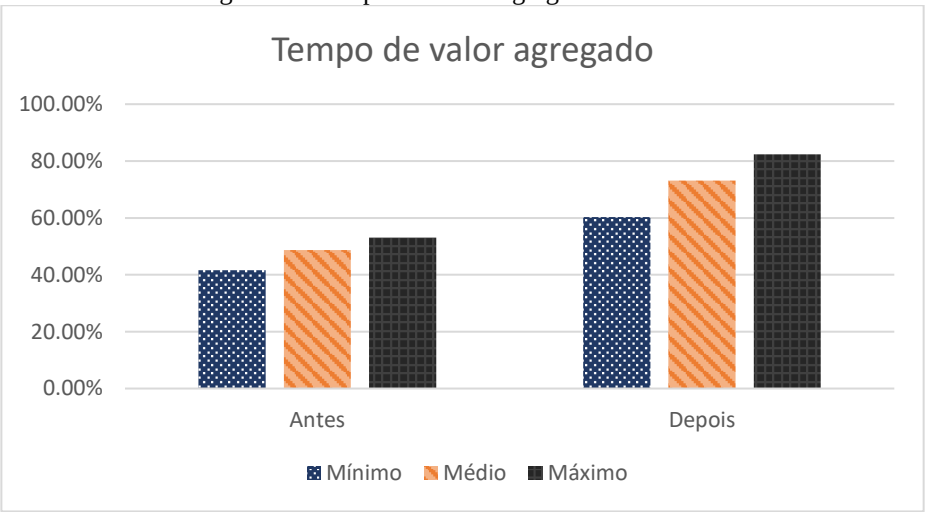
A verificação estudou todo o ambiente produtivo em que o trabalho foi inserido, facilitando mudanças futuras por possibilitar previamente a avaliação de efeitos, evitando assim efeitos negativos na hora da implantação das melhorias. Por fim, a etapa de ajustes mostrou formas de avançar e gerar novas melhorias. Além disso, os resultados aqui podem ser replicados em outras plantas do mesmo grupo, já que foi disponibilizado a Empresa X toda a documentação relativa a padronização e modelagem desenvolvidas, a fim de que os trabalhos possam ser expandidos e sempre melhorados, como preconizados na filosofia de melhoria contínua do Sistema Toyota de Produção.

Qualitativamente, entre os mais importantes resultados, fica o fato de que os gestores ganham agora uma linha de base, um processo referencial para melhorias futuras na racionalização do trabalho exercido fora da linha. O empoderamento do trabalhador também passa a ganhar, uma vez que o funcionário fora de linha vê seu trabalho como algo agora estruturado como os outros. Ainda, espera-se redução da dificuldade de adaptação as novas funções e, com isso, do tempo médio de duas semanas de treinamento dado de funcionário a funcionário devido à falta de uma padronização prévia. O funcionário fora de linha apresenta alta rotatividade (não foram encontrados dados quantitativos dessa rotatividade), mas o projeto desenvolvido traz dois benefícios nessa frente: primeiramente, com o poder dado ao funcionário, espera-se que fique maior tempo empregado e, quando houverem novas contratações, o treinamento dado pela padronização é capaz de reduzir a necessidade da passagem de conhecimentos de um funcionário a outro, como é feito hoje.

Economicamente, como visto pelos modelos, é possível alocar o operário em uma linha a mais sem perda de produtividade, mesmo em casos de OEE extremamente alto. Esse fator não contradiz o empoderamento de funcionários, uma vez que sob a filosofia Toyota

aplicada na Empresa X não são feitas demissões, mas realocações para setores com maior necessidade. Assim, uma comparação entre os dois cenários (anterior e proposto) de alocação de funcionário fora da linha dado pelo software de simulação são mostrados na Figura 36.

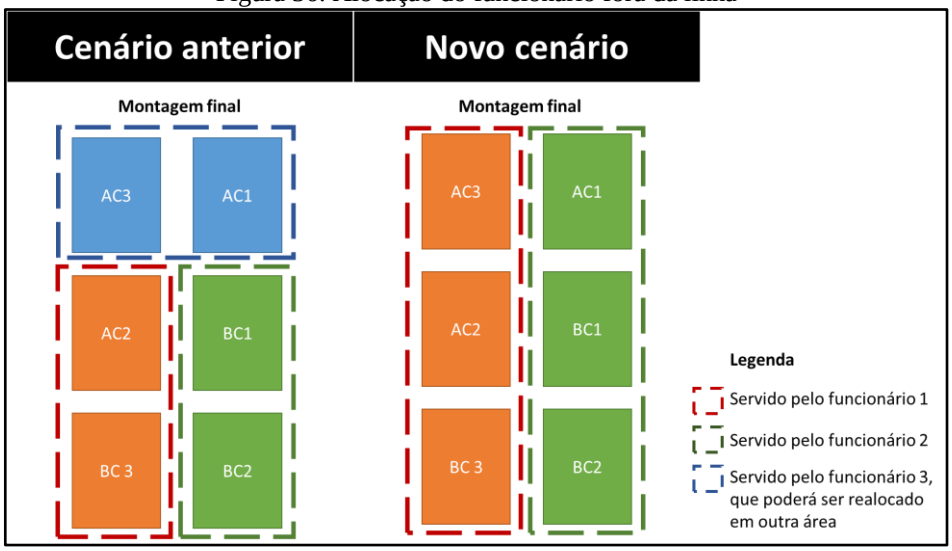
Figura 35: Tempos de valor agregado nos dois cenários



Fonte: Do autor.

Essa alocação proposta segue o cenário mostrado na Figura 37, com o funcionário presente nas células AC2 e BC3 tendo sua atuação ampliada para a célula adjacente mais próxima. Como foi visto que as células trabalham de maneira análoga, foi proposto fazer o mesmo com as outras três células adjacentes e, assim, ser capaz de realocar o funcionário que antes servia AC3 e AC1:

Figura 36: Alocação do funcionário fora da linha



Fonte: Do autor

Em termos econômicos, dado que o salário apurado da função é de US$12,75 por hora, o custo médio semanal da mão de obra é então calculado de acordo com equação:

$$US\$\ 12{,}75\ \times 40\ horas\ semanais = US\$510{,}00\ semanal$$

Os custos estimados da implantação, vistos na Tabela 16, foram definidos a partir da análise dos custos de implantação, sendo eles: implantação do sistema de *Andon*, estimado em custo de 40 horas de um profissional da área de TI (tecnologia da informação - salário por hora de US$35,00). O custo de instalação foi estimado como US$200,00 mais seis horas do profissional de TI por grupo de células – no caso do cenário proposto, são dois grupos. Ainda, seriam necessários um conjunto de teclado e scanner novo por célula, discutido na sessão de *follow-up*, com valor estimado de US$100,00 para cada linha

Tabela 16: Impactos financeiros esperados

Fator	Valor estimado
Economia bruta relativa a nova alocação do trabalho	US$ 510,00 semanal **US$ 24.480,00 anual**
Implantação do *Andon*	US$ 1400,00, total
Instalação física do *Andon*	US$ 420,00 x 2 = US$ 840,00 total
Conjunto teclado/scanner	US$ 100,00 x 6 = US$600,00 total
Custo total	**US$ 2.840,00**
Economia líquida (1 ano)	**US$ 21.640,00**

Fonte: Do autor.

Assim, pode-se dizer que, para além dos benefícios qualitativos discutidos, do modelo de simulação deixado para estudos futuros, e da base para melhoria, existe também um benefício econômico com *payback* – tempo até o retorno sobre o investimento – estimado para seis semanas, com potencial direto de redução de gastos em um total de US$ 21.640,00 no primeiro ano de implantação do sistema proposto.

5. CONCLUSÕES

O trabalho descreveu e analisou os resultados do projeto de melhoria desenvolvido, que seguiu os preceitos de redução constante de custos e perdas através de métodos racionais e bem definidos (no caso, o modelo PDCA A3) que tornaram o Sistema Toyota de Produção famoso, como visto na revisão literária do Capítulo 2. O diagnóstico feito ao início do projeto se mostrou compatível com a busca pela causa raiz dos problemas e os resultados do projeto estudado se mostraram compatíveis com o inconformismo perante a qualquer tipo de perda, típico do pensamento enxuto.

Já os benefícios trazidos com a padronização e documentação de tarefas, redução de ociosidade e aumento da racionalidade das ações do trabalhador fora da linha mostram reduções das perdas por transporte, perdas por espera e perda por desperdício da capacidade intelectual ao integrá-lo no sistema como peça fundamental do processo produtivo como um todo. O foco em um funcionário responsável por auxiliar a célula (e não nos funcionários que realizam o trabalho principal, dentro das células) mostrou a existência de oportunidades para redução de custos relativos a organização do trabalho em áreas nem sempre visualizadas por gestores nas indústrias.

Como recomendações para trabalhos futuros, sugerem-se a rolagem de um novo ciclo PDCA, dado o nível de informação inicial obtido e a possibilidade de comparação de resultados entregue graças a criação do processo referencial, e o estudo e expansão do modelo de simulação de avaliação do trabalhador fora de linha entregue pelo projeto, a fim de que novos cenários possam ser testados a cada nova necessidade surgida, já que, sob a filosofia da produção enxuta, apesar dos resultados positivos do projeto descrito nesse trabalho, não existem soluções (o que existem são contramedidas), pois sempre haverá algo a ser melhorado.

6. REFERÊNCIAS

ADLER, P. S. **Time-and-Motion Regained**. *Harvard Business Review*, 1993.

AGUIAR, G.; PEINADO, J. **Compreendendo o Kanban: Um Ensino Interativo Ilustrado**. *da Vinci v.4*, 2007. p. 133-147.

AIZED, T. **Materials handling in flexible manufacturing systems.** *Future manufacturing systems* (p. 268). Rijeka: Intech, 2010.

ANDERSON, D. J.; CARMICHAEL, A. **Essential Kanban Condensed**. Seattle: LeanKanban University Press, 2016.

BARZANI, B. **Design and Development of Flexible Manufacturing Cells - A Case Study**. New Jersey, 1993.

BRAGLIA, M.; GABBRIELLI, R.; MICONI, D. **Material Handling Device Selection in Cellular Manufacturing**. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 2001.

EDITION ANALYST. **Global body control modules market 2018.** Disponível em <http://editionanalyst.com/global-body-control-modules-market-2018-delphiautomotive-continental-hella-zffriedrichshafen-bosch-omron-denso/>, acessado em 28/05/2018.

FLEXQUBE. **Stackable Rack**. Disponível em: < https://www.flexqube.com/sl/solutions/ shelf-carts/stackable-rack-1610-x-910-mm>, acessado em 28/05/2018.

GREEN, J. C.; LEE, J.; KOZMAN, T. A. **Managing Lean Manufacturing in Material Handling Operations**. *International Journal of Production Research*, 2010.

GREENFIELD, R. **Desenvolvimento de um sistema Andon para sistemas de produção Lean**. Porto: Editora da Universidade do Porto, 2009.

KELTON, W. D.; Sadowski, R. P.; Sadowski, D. A. **Simulation with Arena**, 5a ed**.** McGraw-Hill, 2009.

LIKER, J. K.; FRANZ, J. K. **The Toyotra Way to Continuous Improvement: Linking Strategy and Operational Excellence to Achieve Superior Performance**. New York: McGraw-Hill, 2011.

LIKER, J. K.; MEIER, D. **O Modelo Toyota: Manual de Aplicação**. Porto Alegre: Bookman, 2007.

MARIA, A. **Introduction to Modeling and Simulation**. *Winter Simulation Conference.* Binghamton, 1997.

MOREIRA, S. P. **Aplicação das Ferramentas Lean: Caso de Estudo**. Lisboa: Editora do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2011.

MUTHER, R. **How to Plan a Manufacturing Cell**. *RMA Planning Guide 1570*, 2002.

OHNO, T. **Workplace Management**. McGraw-Hill, 1988.

PLUMARI, F. **Body control modules – invisible but fundamental for every car**, Outubro, 2017. Disponível em <https://e2e.ti.com/blogs_/b/analogwire/archive/ 2017/10/19/body-control-modules-invisible-but-fundamental-for-every-car>, acessado em 28/05/2018.

SAWHNEY, R.; CHASON, S. **Human Behavior Based Exploratory Model for Successful Implementation of Lean Enterprise in Industry**. *Performance Improvement Quarterly 18*, pp. 76-96, 2005.

SHINGO, S. **O Sistema Toyota de Produção do Ponto de Vista da Engenharia de Produção**. Porto Alegre: Bookman, 1996.

SLACK, N.; BRANDON-JONES, A.; JONHSTON, R. (2015). **Administração da Produção**, 4a ed. São Paulo: Atlas, 2015.

SOBEK, D. K.; SMALLEY, A. **Entendendo o Pensamento A3: Um Componente Crítico do PDCA da Toyota**. Porto Alegre: Bookman, 2010.

SOUZA, L. C.; RACHID, A. **Production Management and Employees - A Survey of Autoparts Company**. *Rev. Adm. Mackenzie*, 2015.

YUNIAWAN, D.; ITO, T.; BIN, M. **Calculation of overall equipment effectiveness weight by Taguchi method with simulation**. *Concurrent Engineering: Research and Applications*, 2013. p. 296-306.

ANEXO A – TERMO DE AUTENTICIDADE

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA

Termo de Declaração de Autenticidade de Autoria

Declaro, sob as penas da lei e para os devidos fins, junto à Universidade Federal de Juiz de Fora, que meu Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Graduação em Engenharia de Produção é original, de minha única e exclusiva autoria. E não se trata de cópia integral ou parcial de textos e trabalhos de autoria de outrem, seja em formato de papel, eletrônico, digital, áudio-visual ou qualquer outro meio.
Declaro ainda ter total conhecimento e compreensão do que é considerado plágio, não apenas a cópia integral do trabalho, mas também de parte dele, inclusive de artigos e/ou parágrafos, sem citação do autor ou de sua fonte.
Declaro, por fim, ter total conhecimento e compreensão das punições decorrentes da prática de plágio, através das sanções civis previstas na lei do direito autoral[1] e criminais previstas no Código Penal[2], além das cominações administrativas e acadêmicas que poderão resultar em reprovação no Trabalho de Conclusão de Curso.

Juiz de Fora, _____ de _____ de 20____.

_____	_____
NOME LEGÍVEL DO ALUNO (A)	Matrícula
_____	_____
ASSINATURA	CPF

[1] LEI N° 9.610, DE 19 DE FEVEREIRO DE 1998. Altera, atualiza e consolida a legislação sobre direitos autorais e dá outras providências.
[2] Art. 184. Violar direitos de autor e os que lhe são conexos: Pena – detenção, de 3 (três) meses a 1 (um) ano, ou multa.