

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

MATEUS ALMEIDA DA SILVA

**APLICAÇÃO DE CONCEITOS DO *LEAN MANUFACTURING* PARA AUMENTO
DE PRODUTIVIDADE EM UMA LINHA DE MONTAGEM DE AR-CONDICIONADO**

MANAUS – AM

2022

MATEUS ALMEIDA DA SILVA

**APLICAÇÃO DE CONCEITOS DO *LEAN MANUFACTURING* PARA AUMENTO
DE PRODUTIVIDADE EM UMA LINHA DE MONTAGEM DE AR-CONDICIONADO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia de
Produção da Escola Superior de
Tecnologia da Universidade do Estado do
Amazonas, como parte dos requisitos para
a obtenção do grau de Engenheiro de
Produção

Orientador: Prof. Francisco Assis Barros
de Oliveira, MSc.

MANAUS – AM

2022

MATEUS ALMEIDA DA SILVA

**APLICAÇÃO DE CONCEITOS DO *LEAN MANUFACTURING* PARA
AUMENTO DE PRODUTIVIDADE EM UMA LINHA DE MONTAGEM DE AR-
CONDICIONADO**

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia de Produção da Universidade do Estado do Amazonas, como requisito parcial para a obtenção grau de Bacharel em Engenharia de Produção.

Data de aprovação: Manaus (AM), 26 de outubro de 2022.

Banca examinadora:

Prof. MSc. Francisco Assis Barros de Oliveira – Orientador
Universidade do Estado do Amazonas

Prof.ª MSc. Francisco Canindé de Paiva - Avaliador
Universidade do Estado do Amazonas

Prof. MSc. Sílvio Romero Adjar Marques – Avaliador
Universidade do Estado do Amazonas

RESUMO

A eficiência dos processos e redução dos custos são preocupações das empresas que buscam competitividade. Para isso, é necessário saber analisar um processo produtivo e identificar os desperdícios existentes. O objetivo deste trabalho de pesquisa foi explorar o conceito da metodologia de gestão Lean Manufacturing e verificar seu impacto na produtividade de uma linha de montagem de ar-condicionado de uma empresa no Polo Industrial de Manaus. O principal desafio enfrentado, foi devido à quantidade de atividades na linha de montagem, que ainda conta com muita atividade manual. Após uma análise do processo embasada pelo estudo da metodologia Lean, foram identificadas atividades que não geram valor ao cliente, como excesso de movimentação, e também tempo ocioso, que poderia indicar um balanceamento ineficiente. Identificados as oportunidades de melhoria, foram implementadas melhorias através da automatização de processos, como no uso de uma esteira tracionada para movimentação e sensores automáticos, mas também ações de baixo custo como esteiras de roletes. As melhorias resultaram em economia de tempo na montagem, o que possibilitou rebalancear a linha com menos postos de trabalho, reduzindo custo de produção e melhorando indicadores de produtividade como UPPH e ociosidade. De maneira geral, os resultados obtidos confirmaram as hipóteses levantadas e demonstraram como a metodologia aplicada pode impactar na produtividade de uma linha de montagem como a do caso estudado.

Palavras chave: Lean Manufacturing, processo. balanceamento

ABSTRACT

Process efficiency and cost reduction are concerns of companies seeking competitiveness. Therefore, it is necessary to know how to analyze a production process and identify existing waste. The objective of this research was to explore the concept of the management methodology Lean Manufacturing and verify its impact on the productivity of an air conditioning assembly line of a company in the Industrial Pole of Manaus. The main challenge faced was due to the amount of activities on the assembly line, which still has a lot of manual activities. After an analysis of the process based on the study of the Lean methodology, activities that do not generate value to the customer were identified, such as excessive movements, and excess of idle time, which could indicate an inefficient balancing. Once identified the opportunities, improvements were made through the automation of processes, such as the use of an automated conveyor for movement, automatic sensors, but also low-cost alternatives such as flowracks. The improvements resulted in time saving in the assembly, which made it possible to rebalance the line with fewer workstations, reducing production costs and improving productivity indicators such as UPPH and idleness. In general, the results achieved confirmed the hypotheses raised and demonstrated how the applied methodology can impact the productivity of an assembly line such as the one in this case study.

Keywords: Lean Manufacturing, process. balancing

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ar-condicionado tipo split hi-wall	22
Figura 1 - Ar-condicionado tipo split hi-wall	23
Figura 3 - Disposição da evaporadora na linha	24
Figura 4 - Gráfico de balanceamento do modelo A	24
Figura 5 - Gráfico de balanceamento do modelo B	25
Figura 6 - Posto de montagem do conjunto ventilação	27
Figura 7 - Proposta de esteira tracionada	28
Figura 8 - Gráfico de Ishikawa	29
Figura 9 - Apontamentos dos operadores	29
Figura 10 - Flowrack para alimentação dos motores	31
Figura 11 - Posto do teste de performance	32
Figura 12 - Antigo acionador bimanual	33
Figura 13 - Etiquetas de código de barras	34
Figura 14 - Sensor de visão instalado na grampeadora	35
Figura 15 - Layout da etiqueta de identificação	36
Figura 16 - Relatório de falhas das linhas de evaporadora	37
Figura 17 - Gráfico Pareto de falhas das linhas de evaporadora	37
Figura 18 - Conexões da fiação na caixa elétrica	38
Figura 19 - Alerta da Qualidade para montagem da fiação	38
Figura 20 - Atividades do posto 26	40
Figura 21 - Atividades do posto 25	41
Figura 22 - Rebalanceamento de atividades	41
Figura 23 - Esteira de montagem do conjunto ventilação	42
Figura 24 - Gráfico de balanceamento após lote piloto	43
Figura 25 - Indicadores de produtividade dos modelos A e B	43
Figura 26 - Indicadores de produtividade do modelo B	44
Figura 27 – Quadro para cálculo do payback.....	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Oportunidades de melhoria da linha	30
---	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA	10
1.2 HIPÓTESE(S)	10
1.3 OBJETIVOS	11
1.3.1 Objetivo Geral	11
1.3.2 Objetivos específicos	11
1.4 METODOLOGIA	11
1.4.1 Tipo de pesquisa	11
1.4.2 Coleta de dados	12
1.5 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO	13
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO	14
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1 <i>LEAN MANUFACTURING</i>	15
2.1.1 Os Sete desperdícios	15
2.1.1.1 <i>Desperdício por espera</i>	16
2.1.1.2 <i>Desperdício por defeito</i>	16
2.1.1.3 <i>Desperdício por transporte</i>	16
2.1.1.4 <i>Desperdício por movimentação</i>	16
2.1.1.5 <i>Desperdício por estoque</i>	17
2.1.1.6 <i>Desperdício por superprodução</i>	17
2.1.1.7 <i>Desperdício por superprocessamento</i>	17
2.2 BALANCEAMENTO DE LINHA	17
2.3 MEDIÇÃO DA PRODUTIVIDADE	19

2.4 AUTOMAÇÃO E MECANIZAÇÃO	19
3 APRESENTAÇÃO DO CENÁRIO	21
3.1 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA	21
3.2 APRESENTAÇÃO DO PRODUTO	21
3.3 APRESENTAÇÃO DO PROCESSO	22
3.4 AVALIAÇÃO DO NOVO PRODUTO PARA MANUFATURA	23
3.5 PRIMEIRA MEDIÇÃO DE TEMPOS	25
4 IMPLEMENTAÇÃO DE CONCEITOS DO LEAN MANUFACTURING	27
4.1 POSTOS DE MONTAGEM DO CONJUNTO VENTILAÇÃO	27
4.2 LEVANTAMENTO DAS CAUSAS DA INEFICIÊNCIA DA LINHA	28
4.3 DESPERDÍCIOS IDENTIFICADOS	31
4.3.1 Movimentação: montagem da vane	31
4.3.2 Espera: Acionador do teste de performance	32
4.3.3 Superprocessamento: leitura de etiquetas	33
<i>4.3.3.1 Sistema de Visão Keyence</i>	<i>34</i>
4.3.4 Desperdício por defeito	36
4.4 AJUSTE NO TORQUE DAS PARAFUSADEIRAS	39
5 REBALANCEAMENTO DAS ATIVIDADES	40
6 ANÁLISE DA SEGUNDA MEDIÇÃO DE TEMPOS	42
7 CONCLUSÕES	45
REFERÊNCIAS	47

1 INTRODUÇÃO

A fim de alcançar seus objetivos estratégicos, as empresas precisam se preocupar com a qualidade não só de seus produtos, mas também de seus processos. Muitas vezes existem falhas nesses processos que acabam passando despercebidas, por isso, é de extrema importância que os processos sejam geridos. Paladini e Carvalho (2005) definem gestão de processos como “uma metodologia para avaliação contínua, análise e melhoria do desempenho dos processos que exercem mais impacto na satisfação dos clientes e acionistas.

Tendo em mente a necessidade de melhorar processos, o *Lean Manufacturing* pode ser um aliado visto que é voltado para a melhoria da produção, tornando os processos operacionais enxutos. O *Lean Manufacturing*, é uma metodologia para eliminar os desperdícios em processos produtivos através da detecção das atividades que agregam valor, o investimento nessas atividades e a exclusão daquelas que não agregam valor (LIKER, 2005). A metodologia *Lean* é derivada principalmente do sistema de produção da Toyota. O termo *Lean Manufacturing* foi cunhado originalmente no livro "A Máquina que Mudou o Mundo" (*The Machine that Changed the World*) de WOMACK, JONES E ROOS publicado nos EUA em 1990, que traz uma análise detalhada sobre o sistema de produção dessa gigante da indústria automobilística japonesa. E embora tenha começado na indústria automobilística a filosofia é utilizada em empresas de diversas atividades, de matérias-primas à distribuição, de serviços à manufatura.

O escopo definido para este projeto de pesquisa é uma linha de montagem de unidades evaporadoras de uma fábrica de eletrodomésticos localizada no Polo Industrial de Manaus (PIM). Ao avaliar o processo produtivo atual, constatou-se que esta linha de montagem não é capaz de produzir modelos de uma nova plataforma no ritmo demandado. Isto se deve à alta complexidade da montagem dos novos modelos em relação aos modelos correntes. Neste trabalho serão relatadas ações para aumento da produtividade da linha a fim de absorver os novos modelos para produção no ritmo demandado.

Segundo Pires e Agostinho (1994), as Prioridades Competitivas podem ser definidas como sendo um conjunto consistente de prioridades para assegurar a

competitividade no mercado, durante um certo horizonte de tempo. Dentre as prioridades mais utilizadas pelas empresas estão o menor custo de produção, e maior desempenho das entregas. Considerando o resultado financeiro abaixo do esperado da empresa estudada no ano anterior e os indicadores de produtividade da fábrica, a alta gestão definiu como prioridade a otimização de seu processo produtivo, através da implementação de projetos de otimização de processos.

A implementação de projetos de automação também se tornou um foco de investimento da gestão recentemente, visando sempre que possível automatizar as atividades manuais repetitivas e nocivas ergonomicamente aos operadores, além de reduzir o custo operacional a longo prazo. Segundo Ohno (1997), dentro do contexto dos processos enxutos, a automação se encaixa ao garantir que operações sejam executadas de forma padronizada e rápida, mantendo um fluxo contínuo de produção.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

A implantação de sistemas de automatizados pode demandar um alto investimento da empresa, sendo necessário justificar de forma bem embasada os resultados que serão alcançados e como se dará o retorno do investimento. Diante do que foi exposto na introdução, busca-se nesse estudo responder ao seguinte problema de pesquisa: Como a aplicação de conceitos do *Lean Manufacturing* e da indústria 4.0 em um processo produtivo pode aumentar sua produtividade, de modo a atender a demanda do mercado e as metas da organização?

1.2 HIPÓTESES

Hipótese 1: As adequações proporcionarão maior produtividade da linha e redução na utilização de recursos humanos em atividades operacionais, diminuindo o custo de produção.

Hipótese 2: A aplicação proporcionará redução na utilização de recursos humanos em atividades operacionais e melhoria ergonômica, não sendo evidenciado aumento da produtividade.

Hipótese 3: As adequações resultarão em aumento na produtividade da linha, porém sem redução na utilização de recursos humanos em atividades operacionais.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Avaliar quais são os impactos da implantação da metodologia *Lean Manufacturing* em uma linha de produção em seus indicadores de produtividade, custo e ergonomia.

1.3.2 Objetivos específicos

Para atingir o objetivo principal dessa pesquisa, foram traçados os seguintes objetivos específicos que deram sustentação ao objetivo geral do trabalho. São eles os seguintes:

- Mapear o processo produtivo do setor a ser estudado;
- Identificar e analisar os fatores que impactaram no tempo de ciclo da linha.
- Levantar dados de indicadores de produtividade e ergonomia, antes e depois das implementações, para mensuração de efetividade da melhoria;

1.4 METODOLOGIA

Este capítulo é dedicado à definição do tipo de pesquisa e descrição dos métodos e técnicas utilizados na execução deste trabalho, visando atingir os objetivos propostos.

1.4.1 Tipo de pesquisa

Do ponto de vista de sua natureza, é classificada como uma pesquisa aplicada, pois, tem o objetivo de gerar conhecimento para aplicações práticas dirigidas à solução de problemas específicos.

Quanto à abordagem, esta é uma pesquisa quantitativa, pois traduz em números as informações necessárias para implementação de melhorias do processo, sendo o tempo de execução de operações um dos principais indicadores. Ao mesmo tempo é classificada como qualitativa, pois no estudo do método de trabalho se avalia a performance dos operadores envolvidos para e o impacto dos resultados para os stakeholders.

Do ponto de vista de seus objetivos, é uma pesquisa exploratória pois, tem como objetivo proporcionar maior familiaridade com o tema para torná-lo mais explícito e claro ao pesquisador. A metodologia a ser adotada nesta pesquisa é a do estudo de caso exploratório, onde o pesquisador procura entender como algo acontece, levantando hipóteses sobre o assunto, colhendo informações e através dos métodos adequados, encontrar soluções para o problema.

Na pesquisa bibliográfica, serão pesquisados e consultados livros, artigos, monografias e teses para concepção do referencial teórico que irão embasar decisões durante o projeto. A pesquisa documental envolve consulta a documentos disponibilizados pela empresa como instruções de trabalho, relatórios de produtividade e gráficos de balanceamento.

1.4.2 Coleta de dados

A coleta dos dados será feita com base em um estudo de caso exploratório, cujo principal objetivo é o conhecimento mais amplo e detalhado a respeito dos processos da empresa. Dessa forma, as seguintes fontes de informações serão utilizadas:

a) Documentações: para definições sobre a capacidade do processo, será necessário o acompanhamento dos relatórios de produção e consulta aos principais dados quantitativos da produção;

b) Registros da Engenharia: por meio do sistema de *intranet* da empresa será possível realizar a consulta de instruções de trabalho, que auxiliarão na compreensão da estrutura da linha de montagem processo de produção dos modelos correntes;

c) Observação direta e participante: no primeiro semestre de 2022 ocorrem os eventos de introdução do novo modelo, que consistem em testes de montagem de

amostras do produto na linha. Nestas ocasiões será feita a cronometragem das operações e serão realizadas filmagens dos postos críticos para auxiliar em análises futuras.

A coleta de tempos será realizada no lote piloto e novamente na produção em massa, quando o método estiver estabelecido e os operadores familiarizados com o produto. A coleta de dados definitiva só poderá ser realizada na produção em massa pois haverá uma amostra grande o suficiente em linha para obter o tempo padrão das atividades.

As principais métricas para o sucesso do projeto serão: a produtividade por hora, que não deve ser inferior a 95; o tempo de ciclo da linha pois o tempo consumido em nenhum posto pode exceder o takt time; a taxa de ociosidade, para medir a eficiência do balanceamento. Também será calculado o indicador UPPH, que mede a produtividade por hora por pessoa, antes e depois das melhorias, para medir a eficiência do processo.

1.5 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

O presente trabalho de conclusão tem como objeto de estudo a implementação do *Lean Manufacturing* em uma linha de montagem de unidades evaporadoras em uma empresa do ramo de eletroeletrônico, situada no Polo Industrial de Manaus (PIM).

A condição inicial do processo produtivo é datada de maio de 2022, segundo observado em visitas à empresa e relatado pelos colaboradores. A coleta de dados após a implementação das adequações, da qual serão derivadas conclusões para esta pesquisa, se limita ao período de setembro a outubro de 2022.

Apesar de as adequações do processo impactarem em vários modelos produzidos nesta linha de montagem, este estudo se limita a analisar as ações tomadas para aumento de produtividade de dois modelos de evaporadoras e como elas refletem nos indicadores de produção destes modelos.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O capítulo 1 é onde se dá a apresentação do trabalho relatando o tema abordado, problema, objetivos gerais e específicos, metodologia utilizada e delimitação do trabalho.

No capítulo 2 há uma introdução ao *Lean Manufacturing* com um enfoque nos conceitos que fundamentam a pesquisa como os tipos de desperdício. É abordado também o conceito de automatização de processos e balanceamento de linha, além dos indicadores de performance que serão utilizados para avaliar o processo estudado.

No capítulo 3 é apresentado o estudo de caso, primeiramente descrevendo o produto e o processo que são o foco do estudo, bem como a empresa onde o estudo de caso foi realizado. Neste capítulo é descrita a problemática e a situação inicial

No capítulo 4 é descrita a implementação do projeto em si, desde a análise do processo e levantamento dos desperdícios às adequações para combatê-los.

No capítulo 5 é descrito o processo de rebalanceamento das atividades e no capítulo 6 serão apresentados os dados coletados após as adequações. Em seguida os objetivos e hipóteses apresentados no início serão comentados no capítulo 7 de conclusões.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 LEAN MANUFACTURING

Segundo Womack et al (1992), o termo *Lean manufacturing*, que pode ser traduzido como manufatura enxuta, é uma filosofia de gestão originada do Sistema Toyota de Produção cuja principal premissa é focar na redução de desperdícios no sistema de produção.

Esse termo foi popularizado no ocidente por autores na área de gestão da produção após a publicação de uma pesquisa realizada pelo Massachusetts Institute of Technology – MIT em 1990. Escrito por James P.Womack e Daniel T. Jones, o livro “*The Machine that Changed the World*” é um estudo sobre a indústria automobilística realizado nos anos 80 e contém uma descrição abrangente do sistema de negócios da Toyota. A partir da publicação deste estudo, o *Lean* tem sido o modelo de gestão escolhido pelas empresas que tentam implantar em suas fábricas as mesmas práticas diferenciadas do Sistema Toyota de Produção, a fim de atingir os mesmos níveis de desempenho da Toyota.

Para Liker (2005), a abordagem da Manufatura Enxuta engloba uma ampla variedade de práticas gerenciais, que inclui o sistema *just in time*, sistemas de qualidade, manufatura celular, entre outros.

Ohno (1997) conceitua o *lean manufacturing* como a eliminação de desperdícios e elementos desnecessários a fim de reduzir custos; sua ideia básica é a de produzir apenas o necessário, no momento necessário e na quantidade requerida.

O próximo tópico descreve quais são tipos de desperdícios na metodologia *lean* de acordo com Ohno (1997).

2.1.1 Os Sete desperdícios

Os desperdícios na visão *Lean Manufacturing* são as atividades realizadas em um processo que não agregam valor para o cliente apenas aumenta o custo do produto. Segundo Ohno (1997), os desperdícios se escondem por toda parte na produção. Para evitar isso, deve-se compreender por completo o que é o desperdício

e suas causas. Todos os desperdícios se tornam parte dos custos diretos e indiretos, portanto, são pontos relevantes na busca pela redução de custos.

A seguir estão os sete desperdícios expressos em sua obra.

2.1.1.1 *Desperdício por espera*

É o Tempo de espera que pode ser tanto de funcionários aguardando pelo equipamento de processamento para finalizar o trabalho ou por uma atividade anterior, linha de produção parada esperando por peças, máquinas paradas esperando troca de matéria-prima ou esperando por reparos (OHNO,1997).

2.1.1.2 *Desperdício por defeito*

Ocorre por falhas no processo, na operação ou na matéria-prima. Quando ocorre um defeito se tem duas opções: a peça é descartada ou ela é retrabalhada, o que em ambos os casos aumenta o seu custo de produção (OHNO,1997).

2.1.1.3 *Desperdício por transporte*

Resultam na movimentação de materiais mais que o necessário. As equipes de trabalho e as equipes de suporte devem estar próximas umas das outras para que sejam evitados deslocamentos desnecessários, gerando desperdícios de tempo e aumento no custo de transporte (OHNO,1997).

2.1.1.4 *Desperdício por movimentação*

É o excesso de movimentos executados para realizar uma operação, este desperdício geralmente é ocasionado por *layouts* mal elaborados ou obstáculos no caminho que fazem com que o operador tenha que se desviar para chegar ao seu destino (OHNO,1997).

O estudo de tempos e métodos contribui para a eliminação de movimentos desnecessários, melhorando assim a rotina de operações.

2.1.1.5 *Desperdício por estoque*

Este desperdício está ligado ao excesso de matérias primas, o que atinge diretamente o capital da empresa fazendo que ela mantenha um nível alto de estoque, que significa recursos parados (OHNO,1997). Muitas vezes isso ocorre porque os fornecedores não conseguem entregar no prazo acordado, ou o sistema de estoque da empresa não corresponde com o que realmente se tem armazenado

2.1.1.6 *Desperdício por superprodução*

Como o próprio nome já diz, ocorre quando a empresa produz além do necessário naquele momento, o que acarreta o uso de matérias-primas, mão-de-obra e transporte desnecessário gerando um excesso de estoque, isso ocorre geralmente por falta de coordenação entre demanda e produção, instruções pouco claras dos processos (OHNO,1997).

2.1.1.7 *Desperdício por superprocessamento*

São os processamentos que ocorrem dentro da fábrica, porém são desnecessários para o bom desempenho da mesma. Este desperdício indica que máquinas e equipamentos estão sendo utilizados de maneira inadequada nas operações. Esforços redundantes não agregam valor ao produto ou serviço (OHNO,1997).

Após reduzir os desperdícios é importante permitir que o produto flua pela sua cadeia de valor com menos interrupções e esperas entre as etapas. Para isso, pode ser necessário balancear novamente a linha de montagem.

2.2 BALANCEAMENTO DE LINHA

Segundo Fernandes e Godinho Filho (2010), um dos principais problemas enfrentados pelas linhas de montagem é o balanceamento das atividades. Balanceamento de uma linha consiste em agrupar as tarefas em estações de trabalho

de forma ordenada, de tal forma que as restrições de precedência entre as tarefas sejam respeitadas e alguma medida de eficiência seja otimizada. As medidas mais utilizadas são minimizar o número de estações de trabalho e minimizar o desnivelamento das cargas de trabalho entre os postos da linha.

Davis (2001) expõe as etapas para balancear uma linha de montagem, sendo elas:

- a) Estabelecer qual a sequência das tarefas, usando um diagrama de precedência;
- b) Definir o tempo de ciclo necessário;
- c) Definir o número mínimo de estações de trabalho;
- d) Escolher uma regra básica na qual as tarefas têm de ser alocadas às estações de trabalho e uma regra secundária para desempatar;
- e) Atribuir as tarefas uma a uma à primeira estação até que a soma dos tempos da estação seja igual ao tempo de ciclo. Repetir o processo nas estações seguintes;
- f) Avaliar a eficiência da linha.

Para avaliar o balanceamento de uma linha, são utilizados os indicadores:

- a) O *Lead Time* diz respeito ao tempo que uma peça demora a percorrer o fluxo da produção, ou seja, desde a entrada da matéria-prima em fábrica até à entrega ao cliente (ROTHER; SHOOK, 2003).
- b) O Tempo de Ciclo (TC) é definido pelo período entre a repetição da mesma tarefa num processo. Pode-se dizer que o tempo de ciclo corresponde ao tempo da realização de todas as operações da estação (ou do operador) mais lenta do processo (ROTHER; SHOOK, 2003).
- c) O *Takt Time* é a frequência com que deve ser produzida uma peça, tendo em conta as necessidades dos clientes. Esta métrica é uma referência que ajuda a sincronizar o ritmo de produção e o ritmo das vendas (ROTHER; SHOOK, 2003).

O *takt time* pode ser obtido através da seguinte fórmula:

$$Takt\ Time = \frac{\text{Tempo Operacional por turno}}{\text{Nº de peças pedidas pelo cliente}} \quad (1)$$

- d) A Eficiência do Balanceamento é calculada dividindo-se o tempo total necessário para produzir o produto dividido pelo tempo disponível para a produção do item (ROTHER; SHOOK, 2003).

$$Eficiência = \frac{Tempo\ total\ para\ se\ produzir\ um\ componente}{Tempo\ de\ Ciclo \times N\acute{u}mero\ de\ postos\ de\ trabalho} \quad (2)$$

2.3 MEDIÇÃO DE PRODUTIVIDADE

Medir a produtividade de um processo produtivo significa medir a eficiência com que o processo atende aos anseios dos clientes. Moreira (1991) define produtividade como sendo a razão entre o *output* real produzido e o *input* real consumido, onde: *Output* é uma medida do trabalho realizado por uma atividade (por exemplo, número de caminhões carregados, quilogramas carregados etc.). E *Input* é uma medida do recurso consumido para realizar o trabalho (por exemplo, homem-hora ou horas de operação de empilhadeira). Esquemáticamente pode-se colocar, então, que:

$$Produtividade = \frac{Output\ Produzido}{Input\ Consumido} \quad (3)$$

O UPPH (Unidades por pessoa por hora) é o principal indicador de produtividade da empresa estudada. É calculado dividindo a produção em um período pela soma do total de horas gastas por cada operador na produção, como indica a equação 4. Esta métrica indica a quantidade de produtos produzida por cada operador em uma hora.

$$UPPH = \frac{Quantidade\ Produzida}{Total\ de\ horas\ trabalhadas} \quad (4)$$

Nem sempre é possível melhorar os indicadores do processo apenas rebalanceando as atividades, pode ser necessário recorrer a outras estratégias para aumento de produtividade, como a automação de processos.

2.3 AUTOMAÇÃO E MECANIZAÇÃO

Ferreira (2001) discorre que a Revolução Industrial, iniciada na Inglaterra, tinha como intenção mecanizar a produção, que até o momento era voltada para a técnica de manufatura. É importante aqui fazer uma distinção entre a mecanização e a automatização:

Segundo RIBEIRO (1999), na mecanização, as máquinas são colocadas para ajudar o homem, e dependem de sua ação de controle para serem operadas. Neste caso a “inteligência” do sistema está centrada no homem. Já na automação, as máquinas, além de livrarem o homem de esforços físicos, possuem também a capacidade do controle de suas operações. Automático significa ter um mecanismo de atuação própria, que faça uma ação requerida em tempo determinado ou em resposta a certas condições.

Lacerda e Ferri (2013) fazem uma classificação de automações industriais dividindo-as em 3 níveis:

- a) Nível de Campo – é constituído pelos elementos a serem controlados (motores, esteiras etc.) e pelos elementos de detecção, como sensores.
- b) Nível de Controle – aqui ficam os equipamentos que controlam automaticamente os processos produtivos. Neste nível os dispositivos trocam um grande volume de informações entre si
- c) Nível de Supervisão – é composto pelos programas de interface homem-máquina e aquisição de dados, como os sistemas supervisórios. Este nível não deve interferir diretamente no funcionamento do processo.

3 APRESENTAÇÃO DO CENÁRIO

3.1 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

Tendo sua fábrica instalada em Manaus no ano de 2011, a empresa estudada neste trabalho é uma empresa multinacional chinesa fundada em 1968 que se tornou uma das maiores fabricantes de eletrodomésticos do mundo. Com um faturamento global de R\$ 41 bilhões em 2020, está presente no mercado em mais de 150 países e conta com mais 160 mil colaboradores ao redor do globo.

Em suas fábricas no Brasil apresentou faturamento estimado de R\$ 2,5 bilhões em 2020 e capacidade de produção de mais de 1 milhão de unidades ao ano, se tornando assim a maior fabricante de equipamentos de climatização da América Latina.

A sua fábrica situada no polo industrial de Manaus, que é o foco deste estudo, é responsável pela produção dos seguintes produtos:

- a) Condicionadores de ar tipo *split* residencial
- b) Condicionadores de ar tipo *split* comercial leve
- c) Condicionadores de ar tipo janela
- d) Fornos micro-ondas.

No ano de 2021 a empresa teve faturamento abaixo do esperado e uma série de esforços estão sendo tomados para garantir sua rentabilidade. Entre os esforços neste sentido podemos citar a diminuição da necessidade de retrabalho dos produtos, redução de custos operacionais, e aumento da eficiência.

3.2 APRESENTAÇÃO DO PRODUTO

O produto foco deste estudo trata-se de um novo modelo de ar-condicionado *split hi wall*. O ar-condicionado do tipo *hi wall* é um aparelho de modelo *split* que permite a instalação na parede, por isso ele também é chamado de “parede”. É o tipo mais comum de *split*, podendo ser encontrado, principalmente, em residências e em estabelecimentos comerciais de pequeno porte.

Como qualquer *split*, o *hi wall* é dividido em condensadora e evaporadora, ou seja: uma unidade externa e outra interna como pode-se ver na Figura 1 - Ar-condicionado tipo split hi-wall. Essas duas unidades estão interligadas por tubulações, onde a condensadora utiliza fluido refrigerante para fornecer ar frio à evaporadora, que irá expelir o ar para o ambiente interno.

Figura 1 - Ar-condicionado tipo split hi-wall



Fonte: Imagem fornecida pela empresa estudada, 2022

O foco do estudo é a unidade evaporadora, que é entre as duas unidades é a que demanda maior adequação no processo produtivo.

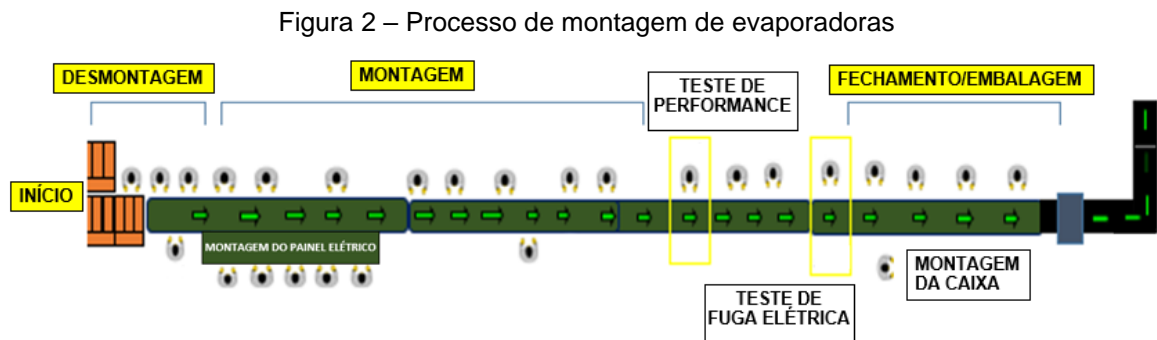
3.3 APRESENTAÇÃO DO PROCESSO

O processo de montagem das unidades evaporadoras nesta empresa é feito da seguinte forma:

O produto chega à fábrica semi-acabado, vindo da China faltando apenas os motores, a fiação elétrica e acessórios, este estado do produto chamamos de *mockup*. Na linha o *mockup* é desembalado e desmontado e em seguida é montado no produto o motor do conjunto ventilação e motores de passo da vane e toda a fiação elétrica é conectada na placa eletrônica, além da placa do *display*. Também é montado na linha o kit de acessórios, são coladas as etiquetas de identificação e rastreio, em seguida o produto passa pelos testes de performance, teste de fuga elétrica e teste do WI-FI.

Após os testes a montagem do produto pode ser concluída e o produto embalado com a embalagem definitiva. Ao longo da passagem do produto pela linha, é feita a leitura das etiquetas de rastreio em vários pontos.

O esquema da figura 2 indica onde ocorrem as etapas do processo de produção de unidades evaporadoras na linha de montagem estudada.



Fonte: Ilustração elaborada pelo autor, 2022.

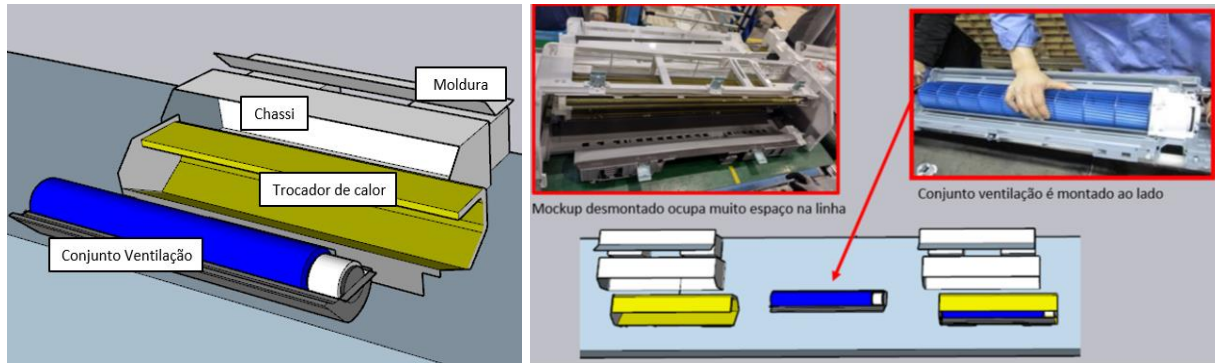
3.4 AVALIAÇÃO DO PRODUTO PARA MANUFATURA

No início do processo de introdução do produto, no mês de março de 2022 foi possível avaliar uma amostra, enviada pela sede da empresa na China, do novo modelo, tratado aqui por “B”. O objetivo desta análise é identificar limitações do processo produtivo da fábrica de Manaus para a produção do novo modelo.

O modelo B deve substituir o modelo corrente “A” no mercado, por este motivo é esperado pela gestão que a fábrica consiga produzir no mesmo ritmo do seu antecessor para atender a demanda de mercado, de 95 produtos por hora.

No entanto o modelo B apresenta diferenças pertinentes para o processo de montagem: a largura da moldura e do conjunto ventilação do novo modelo são maiores que a do A, desta forma o produto desmontado ocupa mais espaço na linha, sendo necessário mover o conjunto ventilação para o lado para o operador ter espaço para montar o conjunto ventilação, conforme ilustrado na Figura 3 - Disposição da evaporadora desmontada na linha. Esta disposição retardaria o ritmo de produção da linha.

Figura 3 - Disposição da evaporadora desmontada na linha

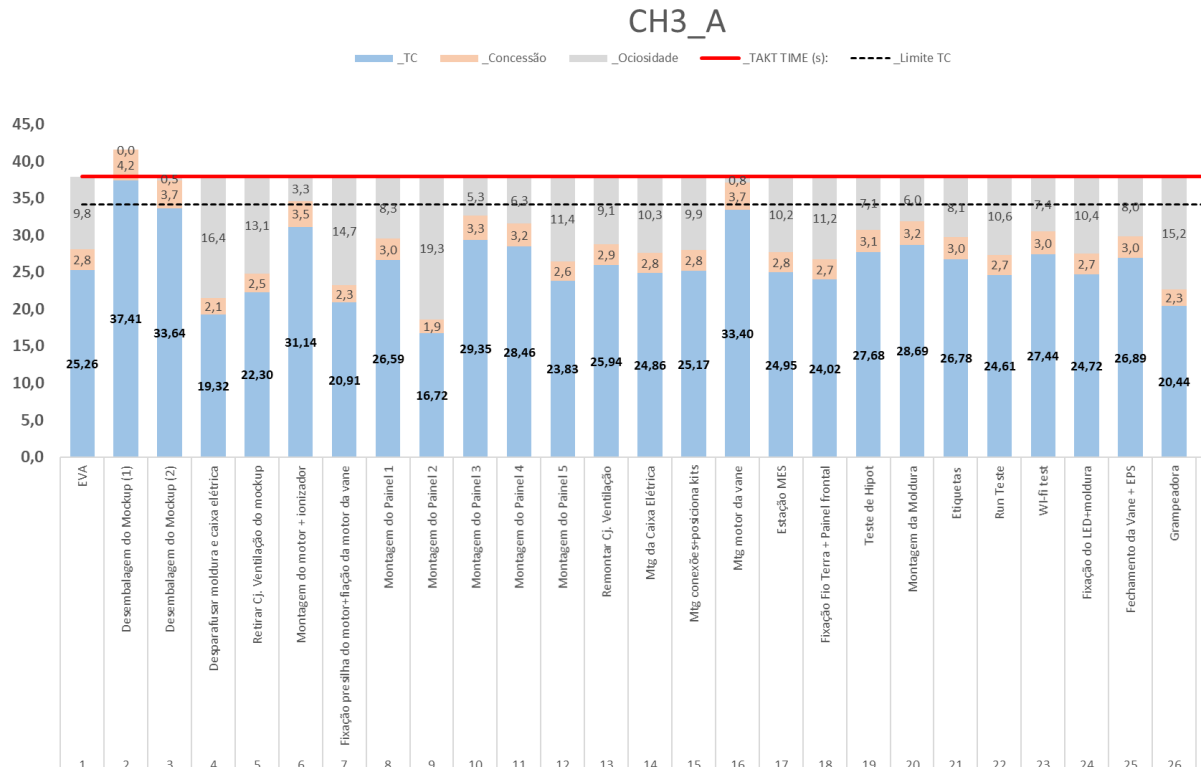


Fonte: ilustração elaborada pelo autor, 2022.

Além disto o modelo novo é caracterizado por sua desmontagem ser mais complexa, sendo necessários mais movimentos para desmontar e remontar o produto.

Para fim de comparação, o gráfico de balanceamento de operações na Figura 4 – Gráfico de balanceamento do modelo A, mostra os tempos de cada posto na produção do modelo A, considerando o ritmo de 95 produtos por hora e 26 postos de trabalho, o *takt time* para que a meta seja atingida é de 37,49 segundos.

Figura 4 – Gráfico de balanceamento do modelo A



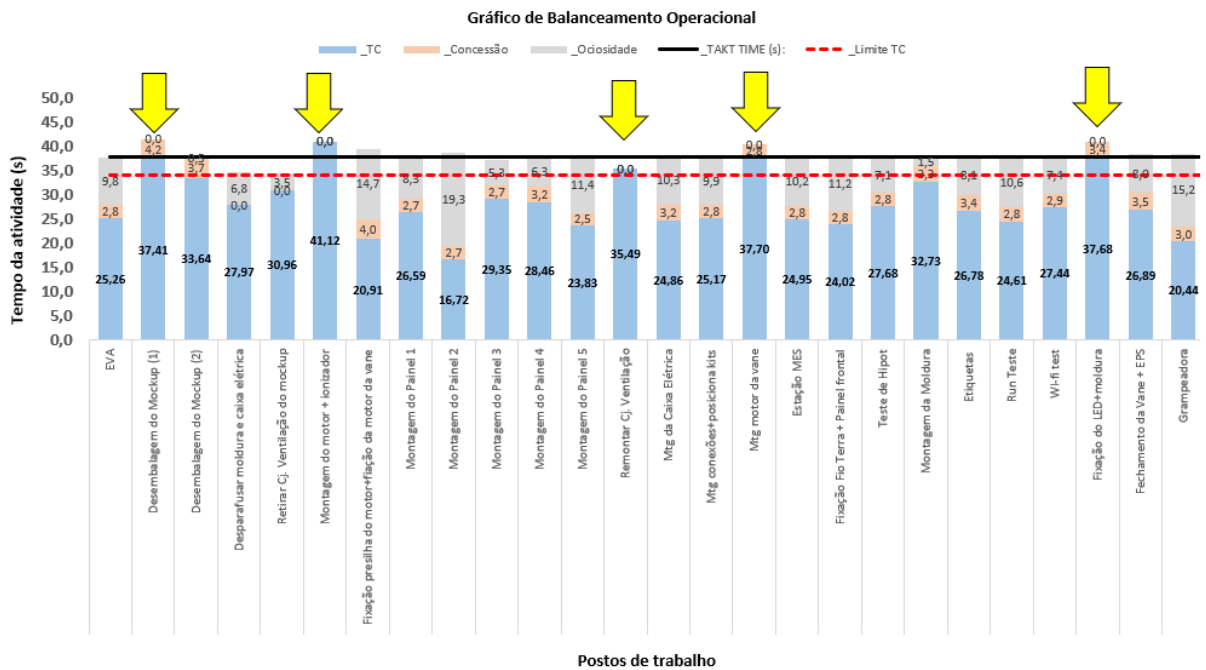
Fonte: Imagem fornecida pela empresa estudada, 2021.

3.5 PRIMEIRA MEDIÇÃO DE TEMPOS

No mês de maio foi realizado o primeiro teste de montagem do modelo novo na linha. O teste consistiu na montagem de cinco amostras do produto com intuito de avaliar as possíveis dificuldades na montagem do produto e necessidades de adequações na linha.

Para este teste, a linha de montagem contava com 26 colaboradores, a mesma quantidade necessária para produzir o modelo A no ritmo de 95 produtos por hora. A Figura 5 – Gráfico de balanceamento do modelo B mostra o tempo consumido por cada operador para realizar sua atividade.

Figura 5 – Gráfico de balanceamento do modelo B



Fonte: gráfico elaborado pelo autor, 2022

Podemos observar que em cinco postos de trabalho o tempo consumido é superior ao limite do tempo de ciclo estabelecido para a meta de 95/h. Este limite, de 34,11 segundos é o tempo máximo de realização de uma operação, para que a meta seja possível considerando uma concessão de 10% para descanso. Em quatro postos de trabalho o tempo consumido é superior ao *takt time* para a meta de 95/h, que é de 37,89 segundos.

O estudo de tempos, por padrão nesta empresa, deve ser realizado com ao menos 10 medições coletadas em diferentes períodos. Uma amostra de cinco máquinas não é o suficiente para validar os tempos do processo, portanto a cronoanálise definitiva será realizada apenas na produção em massa.

É importante considerar que o gráfico de balanceamento acima considera apenas o tempo para a realização das atividades pelos operadores. Não mostra o tempo que é necessário esperar para a passagem do próximo produto, devido ao espaço deixado na esteira para a montagem do conjunto ventilação. Este espaço entre os produtos na linha, mantendo-se a velocidade da esteira, dobraria o tempo de ciclo da linha, o que inviabilizaria a meta. Nesta condição, para que a meta de 95 produtos por hora seja alcançada, seria necessário acelerar a esteira, o que certamente impactaria nas atividades dos operadores.

4 IMPLEMENTAÇÃO DE CONCEITOS DO *LEAN MANUFACTURING*

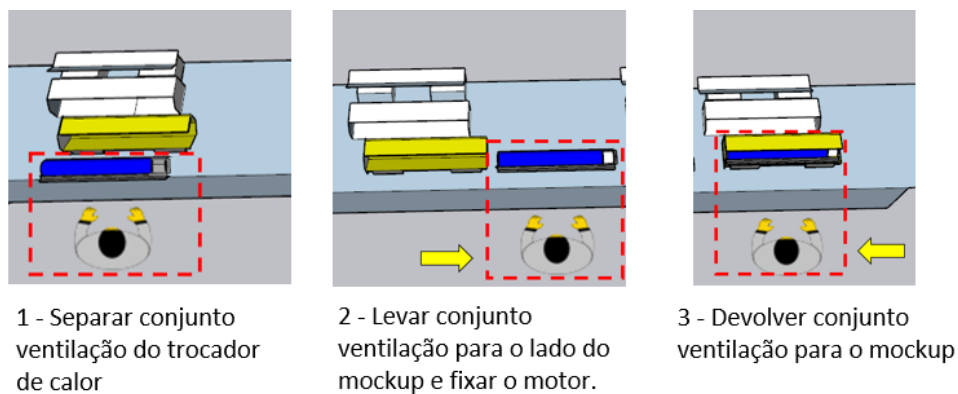
O estudo da metodologia Lean e ferramentas da qualidade servirão como base para a identificação e priorização das principais causas de baixa eficiência e má utilização de recursos na linha, associando os desperdícios do processo a causas que devem ser reduzidas. As implementações graduais de automatização nas linhas serão descritas de modo a visualizar sua influência na melhoria dos indicadores de produtividade.

4.1 POSTOS DE MONTAGEM DO CONJUNTO VENTILAÇÃO

O primeiro desperdício analisado foi no posto de montagem do conjunto ventilação, e se deve ao tamanho do produto conforme descrito no item 3.4, sendo específico do modelo B.

A Figura 6 – Posto de montagem do conjunto ventilação ilustra como foi realizada a montagem do conjunto ventilação no primeiro teste de montagem:

Figura 6 – Posto de montagem do conjunto ventilação



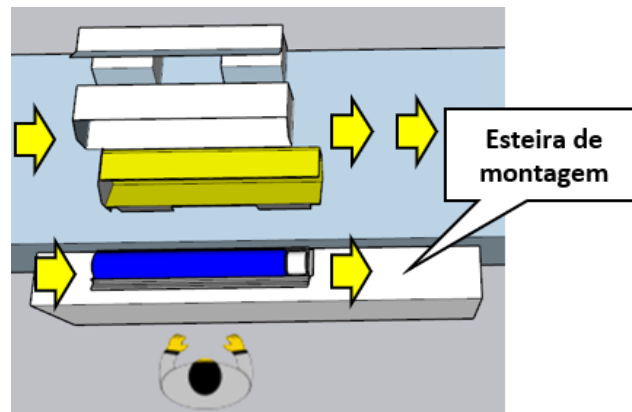
Fonte: Ilustração elaborada pelo autor, 2022

Além do espaço entre os produtos na linha, esta condição exige que o operador se desloque para a direita para posicionar o conjunto ao lado do mockup, para então realizar a fixação do motor elétrico e em seguida se deslocar novamente para a esquerda para fixar novamente o conjunto no trocador de calor. Esta operação pode ser considerada um desperdício de movimentação causado por uma limitação física

da linha, além de ser um risco ergonômico devido ao peso do conjunto ventilação movimentado pelo operador.

A solução proposta foi a extensão do espaço disponível em linha através de uma bancada ou esteira de montagem. Uma esteira menor ao lado da linha de montagem eliminaria a necessidade do espaço entre cada produto, no entanto o operador ainda teria que mover o conjunto ventilação para acompanhar o produto que passa pela linha de montagem. Desta forma, é necessário que a esteira seja tracionada de forma automatizada e com a mesma velocidade da linha para eliminar a necessidade de deslocamento do operador. A Figura 7 – Proposta de esteira tracionada ilustra esta ideia.

Figura 7 – Proposta de esteira tracionada

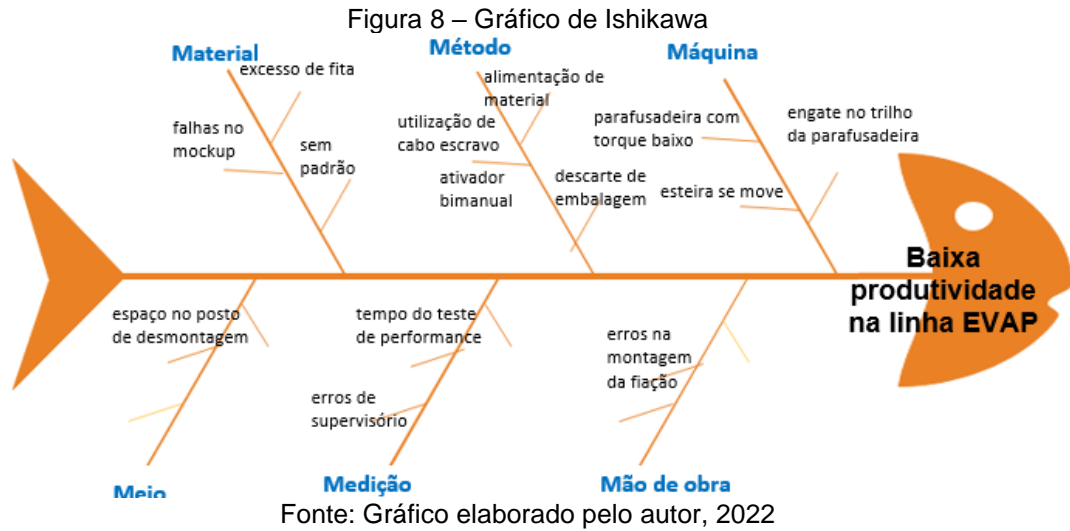


Esteira tracionada elimina necessidade de deslocamento do operador

Fonte: Ilustração elaborada pelo autor, 2022

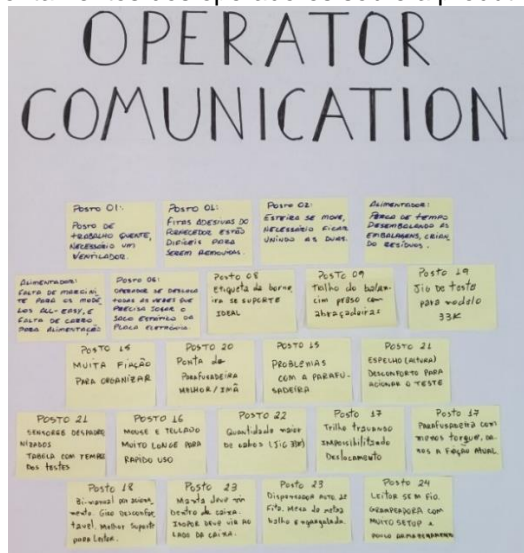
4.2 LEVANTAMENTO DAS CAUSAS DA INEFICIÊNCIA DA LINHA

Durante o primeiro teste de montagem foram consultados os operadores e técnicos da linha visando identificar as causas de ineficiência. Após analisar as gravações feitas de todos os postos no primeiro teste de montagem, as possíveis causas foram então organizadas na forma de um gráfico de Ishikawa com as causas agrupadas em seis categorias: Método, Mão de Obra, Material, Meio, Máquina e Medição como mostra a Figura 8 – Gráfico de Ishikawa.



Tendo em conta a similaridade na montagem dos modelos montados nesta linha, foi realizado um levantamento, junto a operadores e o supervisor da linha, das possíveis causas baixa produtividade da linha como um todo e oportunidades de melhoria em seus postos. Os apontamentos foram compilados no quadro mostrado na Figura 9 – Apontamentos dos operadores sobre a produtividade da linha.

Figura 9 – Apontamentos dos operadores sobre a produtividade da linha



Fonte: cartaz elaborado pelo autor, 2022

Deste levantamento junto aos operadores, foram anotados 22 apontamentos, dos quais 13 resultaram em ações de melhoria, os quais estão reunidos na Tabela 1 – Oportunidades de melhoria da linha:

Tabela 1 – Oportunidades de melhoria da linha

Apontamento	Tipo	Descrição	Oportunidade de melhoria	Tempo ganho estimado da melhoria (s)
1	Ergonomia	Operador do runtest tem que se virar 180° para acompanhar teste	Movimentar monitores	1
2	Movimentação	Operadores do runtest e hipot necessitam segurar o bimanual para realizar teste mesmo com cortinas de segurança	Descaracterizar bimanual	9
3	Movimentação	Operador realiza alimentação dos motores, virando 180° para fazê-lo	Estrutura para entrega do material	2
4	5S	Aparador de parafusos com baixa mobilidade para situações de limpeza	Melhorar sistema de movimentação	10 s por limpeza
5	Movimentação	Por falta de espaço no início da linha, operadores se deslocam para descartar embalagem e EPS	Adicionar segmento de esteira para ganho de espaço	5
6	Melhoria	Por falta de ferramenta de teste par alguns modelos, usa-se cabo escravo no processo, adicionando 1 atividade no processo	Criar JIG adequado para os modelos em questão	12
7	Melhoria	Fitas excessivas no mockup dificultando desembalagem	Redução no número de fitas	3
8	Movimentação	Teclado longe da operadora, prejudicando em caso de lançamentos de falha	Realocar teclado	3
9	Movimentação	Operador retira EPS debaixo da caixa para embalar produto perdendo tempo	Definir método de posicionamento da caixa em linha	3
10	Movimentação	Operador precisa retirar fita e cortar manualmente	Dispensador de fita automática	2
11	Movimentação	Tempo de setup da grampeadora muito grande, armazenamento de grampos muito pequeno obrigando o operador a abastecer a máquina muitas vezes	Retrofit da máquina	80s por alimentação
12	Movimentação	Leitor fica muito longe dependendo da posição do operador	Leitor sem fio	1
13	Calibração	Parafusadeira lenta fora do torque especificado	Calibrar parafusadeiras não conformes	2s em cada posto

Fonte: tabela elaborada pelo autor, 2022

No entanto nem todas as ações poderiam ser realizadas a tempo da entrega do projeto, ou não foram consideradas relevantes para o modelo foco deste estudo, sendo consideradas para projetos de melhoria futuros.

4.3 DESPERDÍCIOS IDENTIFICADOS

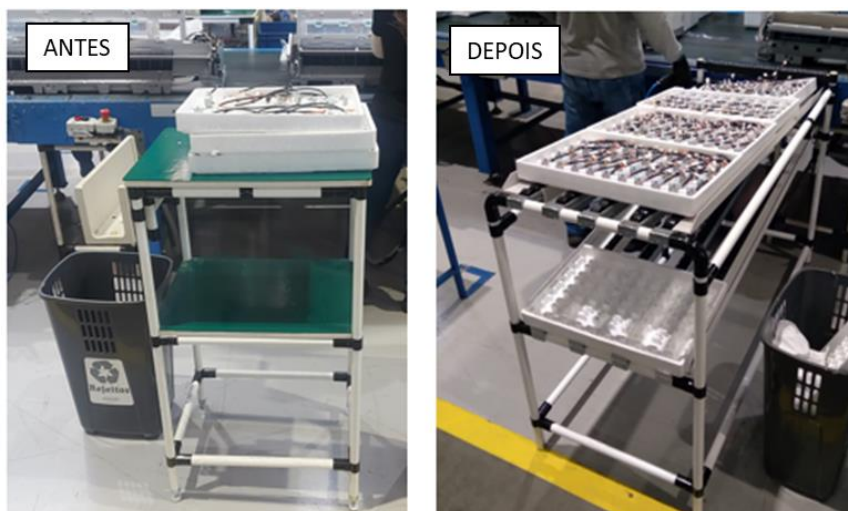
Tendo como base o estudo da metodologia *Lean* e os dados coletados, foram identificadas as seguintes causas de baixa eficiência e má utilização de recursos na linha, associando-as a desperdícios do processo que puderam ser reduzidos.

4.3.1 Movimentação: montagem da vane

Um ponto levantado pelos operadores é sobre a maneira que os motores da vane são disponibilizados no posto. Os motores são disponibilizados pela logística em uma bancada com área capaz de comportar uma bandeja de motores. A logística disponibiliza quatro bandejas empilhadas para diminuir as viagens dos alimentadores, o operador do posto precisa então reorganizar as bandejas conforme os motores são utilizados nos produtos. Esta operação caracteriza um desperdício de movimento pois não agrega valor algum ao produto e existe devido a limitação do dispositivo de alimentação de material.

Para eliminar este desperdício foi desenvolvida uma nova bancada para alimentação dos motores com capacidade para três bandejas lado a lado e com trilhos de roletes para facilitar o acesso às bandejas mais distantes. A melhoria mostrada na Figura 10 resultou na economia de 2 segundos em média neste posto.

Figura 10 – Melhoria: Flowrack para alimentação dos motores



Fonte: Fotografado pelo autor, 2022

4.3.2 Espera: Acionador do teste de performance

Um desperdício de espera identificado é no posto do teste de performance. A atividade deste posto é a seguinte: o produto chega no posto, o operador conecta o jig de teste e garras de aterramento, em seguida é utilizado um leitor de código de barras para ler a etiqueta, o operador então aciona o ativador bimanual com as duas mãos que precisava permanecer em contato durante o teste que demora 12 segundos, como mostra a Figura 11 – posto do teste de performance. Após o teste desconectar o dispositivo e aguardar cerca de 6 segundos até a chegada do próximo produto.

Figura 11 – posto do teste de performance



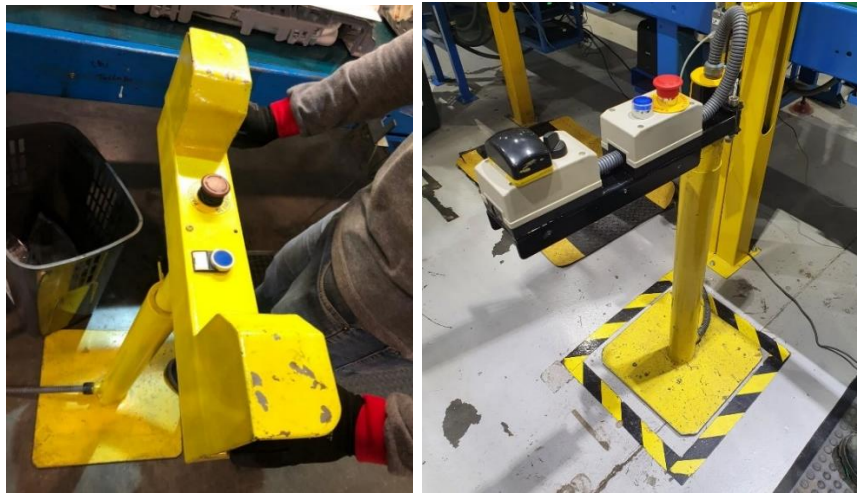
Fonte: Fotografado pelo autor, 2022

Além desta espera também é considerado desperdício o tempo que o operador fica segurando o acionador bimanual. Esta condição foi definida para garantir que o operador não encoste no produto durante o teste.

No entanto, posto também dispõe de uma cortina de luz que para o teste se o operador se aproximar, a cortina de luz foi implementada para aumentar a segurança pois o ativador bimanual protegia apenas o operador, já a cortina pararia o teste caso outra pessoa se aproximasse do produto durante o teste.

Devido a redundância foi autorizada a alteração do ativador por uma botoeira comum, que não necessita manter contato durante o teste, liberando o operador para outras atividades. A Figura 12 mostra o antes e depois da estrutura, que resultou também em uma melhora ergonômica, pois, na condição original, o operador relatou que precisava virar o pescoço para observar o produto durante o teste, de maneira desconfortável.

Figura 12 – antigo acionador bimanual (esquerda) e novo acionador (direita)



Fonte: Fotografado pelo autor, 2022

4.3.3 Superprocessamento: leitura de etiquetas

Em todas as linhas de produção da fábrica, existem estações do sistema supervisório, compostas por um computador e um leitor de código de barras. A função do sistema supervisório é o rastreamento de séries pelo processo e relatório de falhas. Quando um produto apresenta algum problema, o operador deve registrar na estação após a leitura da série. Além das estações do sistema supervisório, as etiquetas também têm função de garantir que os produtos sejam embalados com os acessórios corretos. Há etiquetas no kit acessório, no controle remoto e na caixa de embalagem, como mostra a Figura 13 – etiquetas de código de barras, e se alguma etiqueta não for lida ou se for lida a de outra série, o sistema denuncia o erro para que seja corrigido.

Figura 13 – etiquetas de código de barras



Fonte: Fotografado pelo autor, 2022

No entanto a utilidade das etiquetas é apenas para a fábrica, não agregando valor para o cliente. O processo de leitura de etiquetas só foi implementado para cobrir os possíveis erros do processo que é suscetível a falhas. Por este motivo é considerado desperdício por super processamento, uma atividade agregada ao processo que não gera valor para o cliente.

Para esta operação o operador deve pegar o leitor no suporte, ler as etiquetas pedidas na estação, ler o código para finalizar a coleta e, em seguida devolver o leitor para o suporte. O processo leva de 4 a 12 segundos dependendo do posto. No posto de embalagem, foi observado que o operador precisa se deslocar para embalar o produto e depois pegar o leitor de etiquetas para ler o código da caixa, pois o suporte do leitor está mal posicionado.

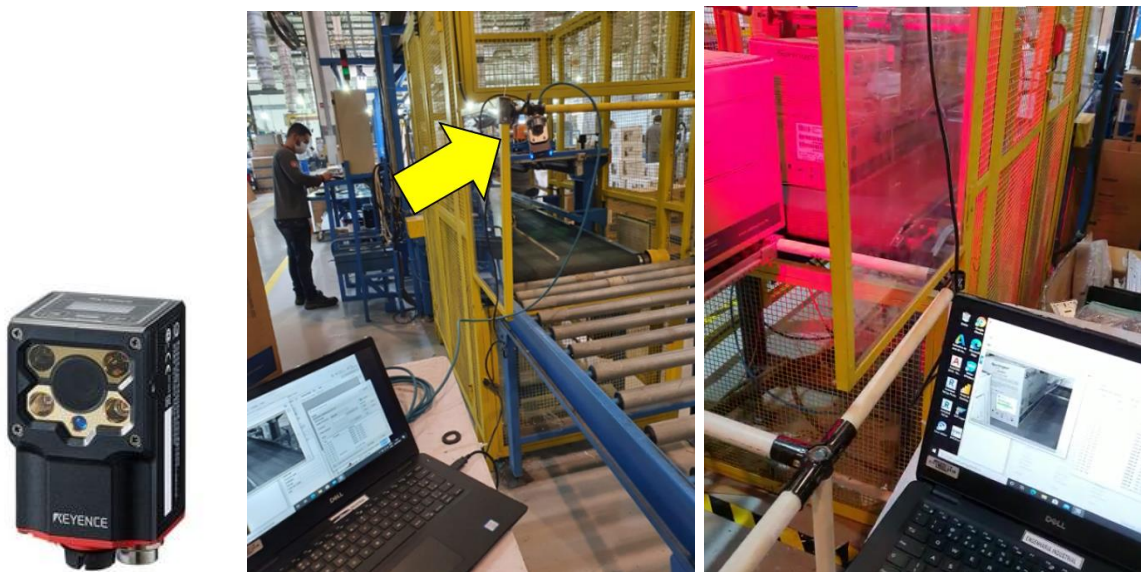
4.3.3.1 Melhoria: Sensor de visão Keyence

A leitura de etiquetas é uma atividade que pode ser automatizada com a utilização de leitores automáticos de códigos de barras.

Para esta automatização um leitor automático foi orçado com o fornecedor Keyence. Este modelo de leitor conta com uma câmera com foco automático que pode ser programada para reconhecer a etiqueta do produto e procurar o código de barras correto para ser lido. O sensor conta com um algoritmo de inteligência artificial que aprimora a detecção das etiquetas quanto mais produtos forem lidos, diminuindo a possibilidade de erros de leitura.

O sensor foi instalado inicialmente apenas no último posto que realiza a leitura final da etiqueta de série e da caixa, pois a posição das etiquetas é fixa e de fácil acesso para o scanner. O sensor foi fixado na grampeadora, como indicado na Figura 14 – Sensor de visão instalado na grampeadora e realiza a leitura quando o produto passa pela esteira. Onde antes o operador demorava 5 segundos para ler a duas etiquetas, o processo automatizado leva menos de 1 segundo, sem necessidade de ação do operador.

Figura 14 – Sensor de visão instalado na grampeadora.



Fonte: Fotografado pelo autor, 2022

A condição exigida pela manufatura para utilização do sensor foi a efetividade de 100%, ou seja, o sensor não poderia deixar de ler nenhuma etiqueta. Para garantir que o leitor leia todas as séries foi desenvolvida um novo modelo de etiqueta mostrado na Figura 15, que além do código de barras, conta com um QR code como redundância. O sensor foi programado para ler o QR code caso o código de barras não seja lido, pensando na possibilidade de etiquetas enrugadas, com bolhas ou mal coladas de alguma forma que comprometa a legibilidade do código de barras.

Figura 15 – Layout da etiqueta de identificação: antigo (esquerda) e proposto (direita)



Fonte: Ilustração elaborada pelo autor no site labelary.com, 2022

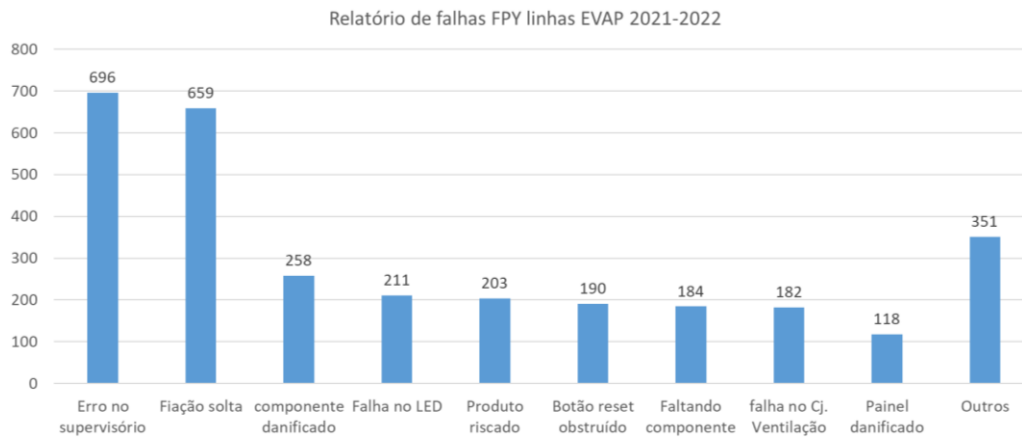
A utilização foi autorizada após o leitor obter 100% de sucesso em um dia de produção, com uma amostra de 428 produtos.

4.3.4 Desperdícios por defeito

As falhas de qualidade nos produtos também influenciam na produtividade da linha. Na maioria dos casos, os produtos são retrabalhados na própria linha de montagem, no posto do Recuperador, depois de corrigida a falha, o produto é inserido novamente na esteira para seguir com o processo de montagem e embalagem. Quando a falha exigir troca de componentes não disponíveis no momento, o produto é enviado para o estoque e entra no plano de retrabalho para ser finalizado em outro momento. Como o mesmo produto passa mais de uma vez na linha, isso acaba impactando na produção normal, podendo diminuir a produtividade no período.

Para este estudo foi consultado o relatório de apontamentos de falhas do sistema supervisório das linhas de evaporadora. As falhas de qualidade identificadas na linha são registradas pelos operadores nos terminais do sistema supervisório após realizarem a leitura das etiquetas, o sistema gera então um relatório em Excel relacionando cada série às falhas registradas, em que parte do processo ocorreu, data, hora e outros dados. Foi necessário realizar um tratamento nesta base de dados para corrigir apontamentos incorretos ou incoerentes e erros de digitação. O gráfico da figura 16 agrupa falhas registradas no período de junho de 2021 a junho de 2022.

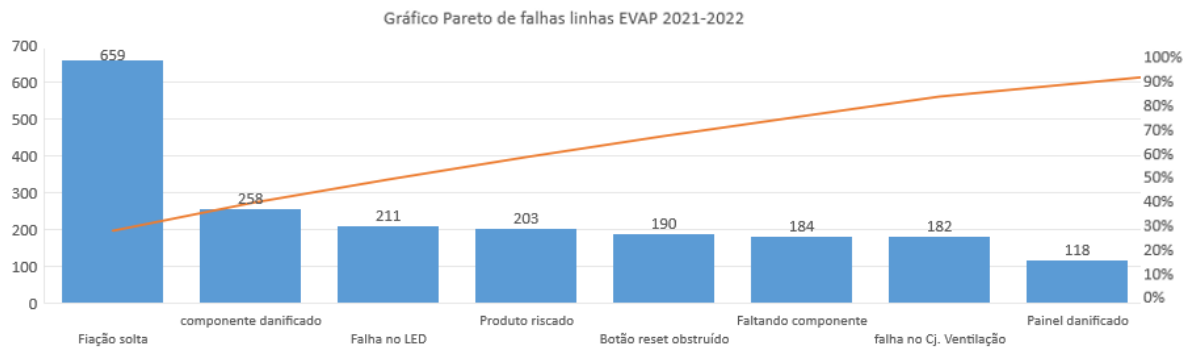
Figura 16 – Relatório de falhas das linhas de evaporadora



Fonte: Gráfico elaborado pelo autor a partir de dados do supervisão da empresa, 2022

21% dos apontamentos são resultado de falhas no sistema supervisão, que registra um apontamento mesmo quando não há falha no produto. Desconsiderando estes apontamentos, foi gerado o gráfico da Figura 17 – Gráfico de Pareto de falhas das linhas de evaporadora.

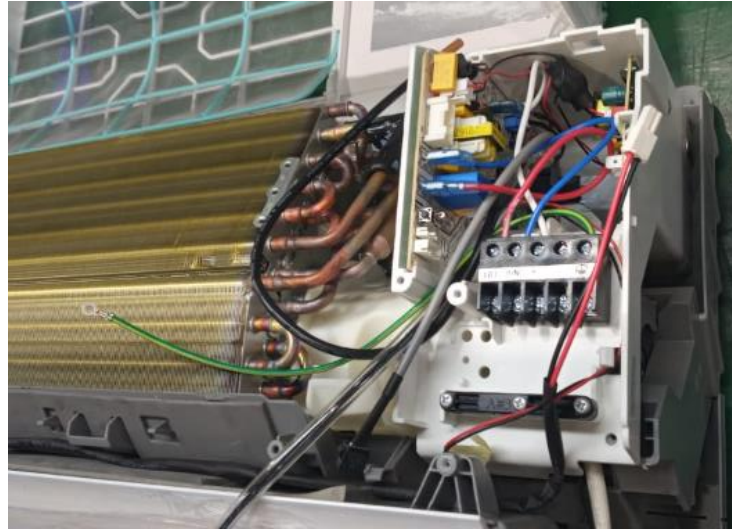
Figura 17 – Gráfico de Pareto de falhas das linhas de evaporadora



Fonte: Gráfico elaborado pelo autor a partir de dados do supervisão da empresa, 2022

O gráfico mostra as 8 falhas mais frequentes, que correspondem a 85% do total. Destas, as falhas por fiação solta (28%) sempre têm como causa falhas dos operadores na linha de montagem. As demais falhas são devidas a problemas com material importado, ou não tiveram a causa identificada.

Figura 18 – Conexões da fiação na caixa elétrica



Fonte: Fotografado pelo autor, 2022

Foram contactados os técnicos da Engenharia de Processo responsáveis pela linha e este informaram que estavam cientes das falhas e a ação adotada por eles foi balancear as atividades de modo a provisionar tempo para os operadores que montam a caixa elétrica (figura 18) inspecionarem seu trabalho. Isto explica a ociosidade medida nestes postos. Como reforço a ação dos técnicos, foi solicitado do setor da Qualidade alertas como o da Figura 19 – Alerta da Qualidade para montagem da fiação, a serem fixados nos postos de montagem da caixa elétrica orientando os operadores para a montagem correta e inspeção.

Figura 19 – Alerta da Qualidade para montagem da fiação

ALERTA DA QUALIDADE Nº09_22		
Modelo: Todos Linha: EVAP 2,3,4 Problema Reportado por: Qualidade	Data da Peça defeituosa: Número da Reclamação: N/A Validade*:	Elaborado por: Aprovador por: Supervisor Manuf.:
Não Conforme	Conforme	
<p>Descrição da Falha: Evidenciado no PQC fiação mal fixada na placa. Impacto: Na movimentação do processo e transbordo podendo desconectar e não ligando no teste funcional e/ou na casa do cliente gerando transtorno ao mesmo. Ação: Orientar os colaboradores para realizar com atenção a checagem da fixação das fiações.</p>		

Fonte: Imagem fornecida pela empresa, 2022

4.4 AJUSTE NO TORQUE DAS PARAFUSADEIRAS

Outra ação para aumento de produtividade foi o aumento do torque das parafusadeiras. Esta ação se refere aos postos de desmontagem do mockup no início da linha e parafusamento da moldura no final. O torque utilizado originalmente era de 5,5 Nm, foi sugerido o aumento para 6 Nm visando acelerar as atividades de parafusamento da moldura. Uma vez evidenciado que o torque poderia ser elevado para 6 Nm sem risco de danificar a moldura plástica, as parafusadeiras dos postos foram ajustadas, e as parafusadeiras mais lentas foram alocadas para os postos de montagem da caixa elétrica e partes mais frágeis. Isto deve refletir na redução de alguns segundos nos postos de montagem e desmontagem.

5 REBALANCEAMENTO DAS ATIVIDADES

Analisando o gráfico de balanceamento de atividades na Figura 4, é possível observar que cinco postos apresentam taxa de ociosidade acima de 10 s, são eles: montagem do painel elétrico teste de performance, montagem da moldura, montagem do motor da vane, estação do MES e grampeadora. O posto de montagem do motor da vane deve passar a montar o ionizador, atividade do posto 6 que estava sobrecarregado, com tempo acima do *takt time*.

Pensando no ponto de vista da redução de custo, as atividades dos postos com maior ociosidade podem ser redistribuídas entre os outros postos, desta forma eliminando a necessidade de colaboradores na linha e os custos associados. O posto mais ocioso é o da montagem do painel, seguido pelo posto da grampeadora.

No entanto, não seria viável reduzir um posto da montagem do painel, pois suas atividades teriam de ser redistribuídas entre os outros quatro postos de montagem do painel, que ficariam sobrecarregados. Além do mais, como já visto, a montagem do painel é um dos postos onde mais ocorrem erros de montagem.

O posto da grampeadora tem 20,44 segundos consumidos, que serão reduzidos e cerca de 5 segundos após a implantação do leitor automático, por isso foi o posto escolhido para ser reduzido e ter as atividades redistribuídas, como indicado na Figura 20 – Atividades do posto 26.

Figura 20 – Atividades do posto 26

Posto	Atividade	Tempo (s)	
26	Posicionar evaporadora na caixa e realizar o giro	11,24	Redistribuído para o posto 25
26	Realizar leitura da etiqueta de produção > finaliza coleta	5,30	Automatizado com leitor automático
26	Fechar caixa e posiciona-la para grampeadora	3,73	Redistribuído para o posto 25

Fonte: elaborado pelo autor, 2022

A Figura 21 – Atividades do posto 25 lista as atividades do posto 25 que serão rebalanceadas para outros postos para este receber as atividades do 26.

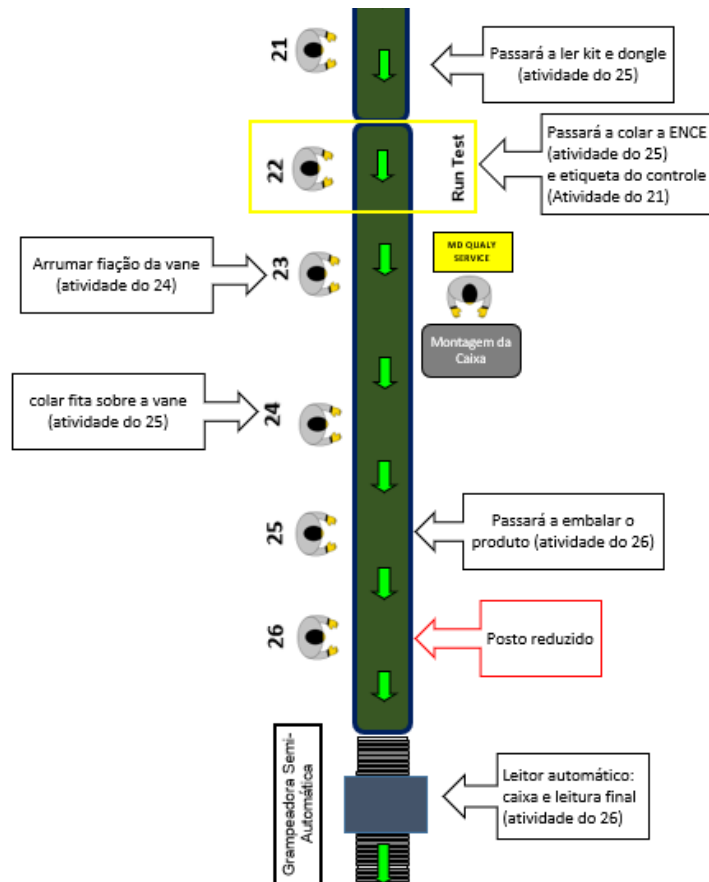
Figura 21 – Atividades do posto 25

Posto	Atividade	Tempo (s)	
25	Colar etiqueta ENCE no produto	3,78	Rebalanceado para posto do runtest
25	Realiza leitura do controle, kit e dongle	4,28	Rebalanceado para posto de colagem de etiquetas na tampa
25	Posicionar controle, kit e dongle dentro da evaporadora	3,22	
25	Destravar o sustentador da tampa, fechar e alinhar película protetora	2,72	
25	Retirar e realizar colagem da fita de fixação na vane	5,71	Otimizado por dispensador de fita. Rebalanceado para posto de fixação da moldura
25	Colocar manta sobre evaporadora e girar para colocar os EPS	3,20	
25	Posicionar EPS's laterais	3,94	

Fonte: elaborado pelo autor, 2022

O operador do teste de performance (runtest) após adequação do ativador poderá colar a etiqueta ENCE no produto e a etiqueta do controle remoto. A Figura 22 – Rebalanceamento de atividades mostra as principais alterações nos postos.

Figura 22 – Rebalanceamento de atividades



Fonte: Esquema elaborado pelo autor, 2022

6 ANÁLISE DA SEGUNDA COLETA DE TEMPOS

O lote piloto do modelo B ocorreu em julho de 2022, com a produção de 10 amostras. Para esta produção a esteira tracionada já estava disponível para uso como se pode ver na Figura 23 – Esteira de montagem do conjunto ventilação.

Figura 23 – Esteira de montagem do conjunto ventilação

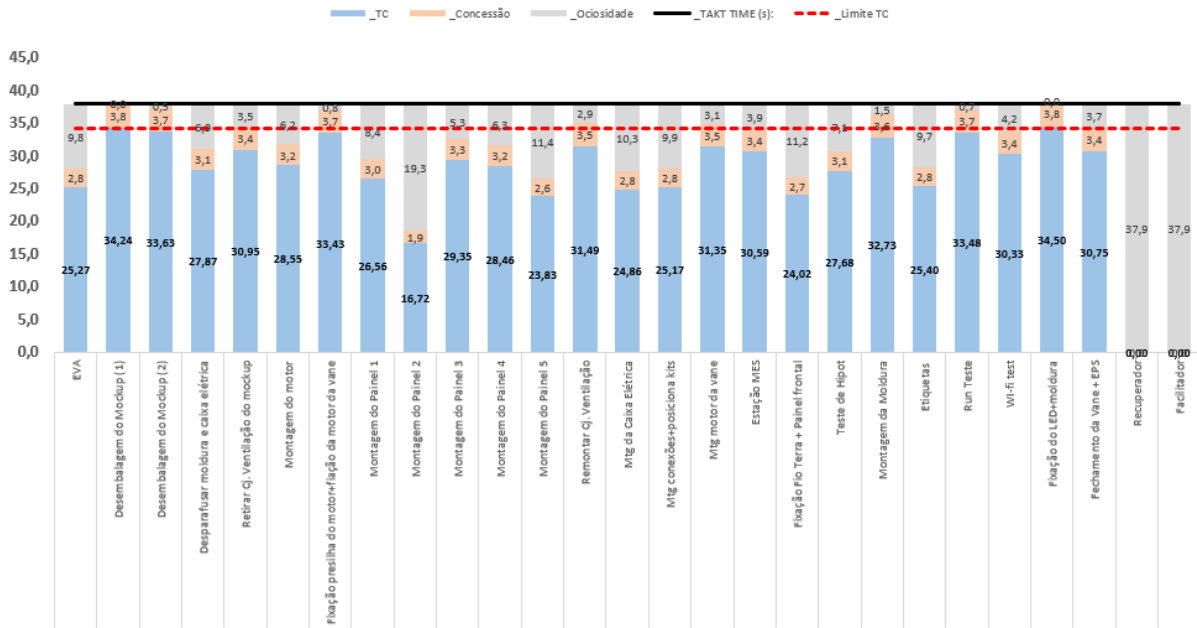


Fonte: Fotografado pelo autor, 2022

No lote piloto não foram evidenciadas dificuldades na montagem das amostras, porém o leitor automático de etiquetas ainda não estava operacional. Por este motivo a coleta de dados foi feita apenas na produção em massa que ocorreu no final de agosto para poder validar as adequações implementadas.

Na primeira ordem de produção em massa foram produzidas 462 máquinas, e assim foi possível cronometrar o tempo de 10 ciclos para cada posto. A Figura 24 – Gráfico de balanceamento após lote piloto mostra a média dos tempos medidos em cada um dos 25 postos. Podemos observar que o tempo consumido ficou abaixo do *takt time* em todos os postos.

Figura 24 – Gráfico de balanceamento após lote piloto
GBO CH3_B



Fonte: Gráfico elaborado pelo autor, 2022

As tabelas da Figura 25 trazem os indicadores de produtividades do modelo A e do modelo B após as melhorias. O modelo B será produzido com um posto de trabalho a menos que o modelo A, mantendo a meta de 95 produtos por hora, atingindo o objetivo inicial do projeto, isto refletiu no aumento do indicador de produtividade UPPH que passou de 3,65 para 3,80 produtos por operador por hora, um aumento de 4%. Após o rebalanceamento de atividades, a taxa de ocupação da linha é de 85% em comparação com 77% de ocupação do modelo A.

Figura 25 – Indicadores de produtividade do modelo A (esquerda) e B (direita)

Modelo:	CH3_A		Modelo:	CH3_B	
T. de trabalho:	8,4	hr/dia	T. de trabalho:	8,4	hr/dia
Produção:	95	Pçs/hr	Produção:	95	Pçs/hr
Qtd operadores:	26	HC	Qtd operadores:	25	HC
Tackt time:	37,9	Seg.	Tackt time:	37,9	Seg.
Concessão	10%		Concessão	10%	
Limite Tempo Ciclo	34,1	Seg.	Limite Tempo Ciclo	34,1	Seg.
Taxa de Ocupação	77%		Taxa de Ocupação	85%	
Produtividade/ Mão-de-Obra	3,65	UPPH	Produtividade/ Mão-de-Obra	3,80	UPPH

Fonte: Quadro comparativo elaborado pelo autor, 2022

Analisando apenas os tempos do modelo B, foi visto no item 3.5 que na primeira coleta de tempos o modelo foi produzido com 26 postos de trabalho, sendo que em cinco deles, o tempo consumido é superior ao *takt time* de 37,9 segundos. Na figura 26 podemos ver que na primeira coleta a linha apresentou ocupação de 83%, enquanto na segunda a ocupação subiu para 85% indicando utilização melhor utilização dos recursos humanos no processo.

Figura 26 – Indicadores de produtividade do modelo B antes (esquerda) e depois (direita)

Modelo:	CH3_B (1° medição)		Modelo:	CH3_B (2° medição)	
T. de trabalho:	8,4	hr/dia	T. de trabalho:	8,4	hr/dia
Produção:	95	Pçs/hr	Produção:	95	Pçs/hr
Qtd operadores:	26	HC	Qtd operadores:	25	HC
Tackt time:	37,9	Seg.	Tackt time:	37,9	Seg.
Concessão	10%		Concessão	10%	
Limite Tempo Ciclo	34,1	Seg.	Limite Tempo Ciclo	34,1	Seg.
Taxa de Ocupação	83%		Taxa de Ocupação	85%	
Produtividade/ Mão-de-Obra	3,65	UPPH	Produtividade/ Mão-de-Obra	3,80	UPPH

Fonte: Quadro comparativo elaborado pelo autor, 2022

Para analisar a economia de custos de produção, foi calculado o indicador *payback* que indica em quanto tempo o investimento resultará em retorno financeiro. O *payback* foi calculado dividindo o valor do investimento pelo valor economizado no período. O valor economizado de R\$ 4.998,81 por mês considera o custo mensal com dois operadores, sendo um para cada turno, que foram realocados para outro processo, não fazendo mais parte dos custos de produção das evaporadoras. Dividindo o custo das adequações pelo valor economizado obtemos que o tempo até o investimento gerar economia é de 4,14 meses.

Figura 27 – Quadro para cálculo do payback

Investimento	
Sensor de visão	R\$ 12.000,00
Accionador novo	R\$ 5.500,00
Demais adequações	R\$ 3.200,00
Total	R\$ 20.700,00
Redução de custo (por mês):	R\$ 4.998,81
Payback	4,14 meses

Fonte: Informações fornecidas pela empresa, 2022

7 CONCLUSÕES

Neste trabalho foi realizado um estudo sobre aplicação da metodologia *lean manufacturing*, com o intuito de encontrar soluções para aumentar a produtividade da linha de produção, considerando os objetivos da organização. Para isto foi apresentada uma visão analítica do processo de identificação das principais perdas produtivas com base na metodologia *Lean*, seguido da estratificação destas e a tomada de decisão quanto à tratativa dos problemas. As tratativas encontradas estão relacionadas à necessidade de se automatizar processos manuais, como a leitura de etiquetas e movimentação de componentes, e refletiram em ganhos de produtividade, diminuição de custos de produção e benefícios ergonômicos.

Foram realizadas descrições do produto foco do estudo e os processos relacionados à montagem de unidades evaporadoras. A colaboração dos técnicos e operadores do processo foi essencial para a identificação das possíveis causas da ineficiência do processo, fornecendo informações sobre o processo e as dores de suas atividades. No entanto alguns desperdícios levantados não puderam ser abordados nesta pesquisa, serão considerados oportunidade para projetos futuros, por exemplo a extensão da esteira no início da linha para melhorar o layout para alimentação do material.

A decisão de quais desperdícios abordar foi feita estrategicamente, considerando a premissa da redução de custo. O critério de priorização foi atividades de postos ociosos, e os que poderiam ter atividades distribuídas. Toda adequação foi embasada na quantidade de tempo seria economizado em cada posto e desta forma foi possível rebalancear a linha para operar com 25 postos de trabalho, onde antes havia 26. Com isso o investimento nas adequações será pago com a economia com mão de obra ao longo dos meses. O alcance da meta/hora estabelecida a empresa de 95 produtos por hora também significa que a empresa não precisará recorrer a alternativas mais caras como aumento de postos ou produção em mais turnos para alcançar o planejado.

Dito isto, o objetivo principal da pesquisa foi atingido tendo sido observado aumento de produtividade na linha de 4% pela métrica UPPH em decorrência da aplicação de conceitos de manufatura enxuta. Dentre as hipóteses levantadas no

início do estudo, a hipótese 1 foi confirmada pois as adequações proporcionaram maior produtividade da linha e redução na utilização de recursos humanos em atividades operacionais, como mostra a figura 26. Em relação aos objetivos específicos estabelecidos no início deste estudo, também foram alcançados através do levantamento de dados e indicadores de produtividade antes e depois das adequações, que estão disponíveis também nas imagens 26 e 27.

Quanto à relevância do estudo, além dos ganhos para a empresa, do ponto de vista do pesquisador, a pesquisa proporcionou maior compreensão acerca do tema manufatura enxuta. O estudo da metodologia em livros e artigos embasou a estratégia para o aumento de produtividade neste processo específico e agora esta pesquisa poderá também aumentar o acervo sobre o tema.

Como oportunidades futuras, é possível se propor melhorias similares em outros postos de trabalho manuais e avaliar a possibilidade de se aumentar a capacidade produtiva da linha para 100 por hora, por exemplo, tendo em mente a eficácia das instalações nos postos trabalhados neste estudo. O sistema de leitura automática de etiquetas é algo que pode ser adotado em outras linhas pois todos os produtos contam com essa atividade. Uma continuação desta pesquisa poderia avaliar também o impacto das melhorias nos modelos correntes, pois assim seria possível comparar o antes e depois de um processo já consolidado o que não ocorreu nessa pesquisa pois o objeto de estudo aqui era um modelo novo e seu antecessor.

REFERÊNCIAS

DAVIS, Mark; AQUILANO, Nicholas, CHASE Richard. **Fundamentos da Administração da Produção**. Porto Alegre: Bookman, 2001.

FERNANDES, F. C. F. & GODINHO, F. M. **Planejamento e controle da produção: dos fundamentos ao essencial**, Editora Atlas. 2010

FERREIRA, Ed'Wilson T. **Segurança de Redes de Computadores em Ambiente Industrial**, Universidade Federal de Uberlândia - UFU, Uberlândia – MG, 2001.

LACERDA, D. A. F., FERRI W. R. **Desenvolvimento da Automação Robótica por Meio de Segmento de Linha**. Fatec Garça. GARÇA-SP. 2013

LIKER, J. K. **O Modelo Toyota: 14 Princípios de Gestão do Maior Fabricante do Mundo**. Porto Alegre: Bookman, 2005.

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

PIRES, Silvio RI; AGOSTINHO, Oswaldo L. **Estratégias competitivas e prioridades competitivas da manufatura: um estudo exploratório**. Production, v.4, p. 23-32, 1994.

LACERDA, D. A. F., FERRI W. R. **Desenvolvimento da Automação Robótica por Meio de Segmento de Linha**. Fatec Garça. GARÇA-SP. 2013

MOREIRA, Daniel A. **Medida da produtividade na empresa moderna**. São Paulo: Livraria Pioneira Editora, 1991

ROTHER, Mike; SHOOK, John. **Aprendendo a Enxergar: Mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar desperdício**. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2003.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. e ROOS, D. **A máquina que mudou o mundo**. 14. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1992.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROSS, D. **A mentalidade enxuta nas empresas *Lean Thinking*: elimine o desperdício e crie riqueza**. Rio de Janeiro: Elsevier Editora, 2004. 408 p.