

DIEGO ALEXANDRE DE LIMA CASTRO

**SISTEMA DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL PARA IMPLANTAÇÃO DE
MELHORIAS EM PROCESSOS INDUSTRIAIS**

MANAUS – AM
2022

DIEGO ALEXANDRE DE LIMA CASTRO

**SISTEMA DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL PARA IMPLANTAÇÃO DE
MELHORIAS EM PROCESSOS INDUSTRIAIS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Gestão de Processos, Sistemas e Ambiental - PPG.EGPSA, do Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia- ITEGAM, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

Orientador: Dr. Jandecy Cabral Leite

**MANAUS – AM
2022**

DIEGO ALEXANDRE DE LIMA CASTRO

**SISTEMA DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL PARA IMPLANTAÇÃO DE
MELHORIAS EM PROCESSOS INDUSTRIAIS**

Esta dissertação foi julgada e aprovada para a obtenção do título de Mestre do Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Gestão de Processos, Sistemas e Ambiental do Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia – ITEGAM.

Manaus-AM, 14 de Fevereiro de 2022.



Prof. Dr. Jandecy Cabral Leite

Coordenador do PPG.EGPSA - ITEGAM

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Jandecy Cabral Leite
Orientador (PPG.EGPSA/ITEGAM)



Prof. Dr. Manoel Henrique Reis Nascimento
Examinador Interno (PPG.EGPSA/ITEGAM)



Prof. Dra. Nadime Mustafa Moraes
Examinador Externo (UEA)

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Biblioteca do ITEGAM**

Castro, Diego Alexandre de Lima, 2022 - Sistema de Simulação Computacional para Implantação de Melhorias em Processos Industriais / Diego Alexandre de Lima Castro - 2022. 90 f., il: Colorido

Orientador: Dr. Jandecy Cabral Leite

Dissertação: Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia, Programa de Pós Graduação em Engenharia, Gestão de Processos, Sistemas e Ambiental (PPG-EGPSA), Manaus - AM, 2022.

1. Processos Industriais 2. Automação 3. Simulação Computacional 4. Plant Simulation 5. Ar Condicionado.

CDD - 1001.ed.2022.10

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a DEUS por guiar-me e possibilitar a alcançar meus objetivos pessoais e profissionais, agradecer a pôr ajudar a enfrentar as dificuldades durante a pandemia da COVID-19, onde não foi fácil concluir os estudos em meio às restrições que a pandemia nos impôs. Agradecer a todos os médicos, enfermeiros e aos demais profissionais da Área da Saúde que foram guardiães e escudos de proteção de nossas famílias na luta contra a da COVID-19.

Agradeço toda minha família e amigos que me incentivaram a ingressar no mestrado profissional, especialmente minha mãe **Maria Irene Soares de Lima**, que sempre incentivou nos meus estudos e sempre esteve ao meu lado.

A minha esposa **Zilanda Liliane Silva de Araujo** pela compreensão e todo apoio, sem ela não seria capaz de concluir os estudos, cuidou dos nossos filhos enquanto estava me dedicava às aulas e aos trabalhos de pesquisa.

A minhas Tias **Arinete soare Guedes** e **Lucilene Soares de Lima** que a cada instante me proporcionaram momentos familiares únicos e inesquecíveis de realizações pessoais e profissionais, sendo minha referência de união, afeto e força para lutar e seguir adiante em todas as dificuldades e/ou perdas a qual tivemos neste percurso.

Aos meus filhos **Zayn Alexandre de Araujo Lima** e **Alexandre Steven de Araujo Lima** que são minha principal fonte motivadora para alcançar meus objetivos pessoal e profissional.

Ao meu Orientador: **Prof. Dr. Jandecy Cabral Leite**, pelos ensinamentos, pela paciência e sabedoria, obrigado por conduzir as orientações com maestria e placidez.

Aos meus amigos **Jonathas Abreu, Fernando San Martin, Byoung gi Lee, Alan monteiro** e **Mario Canto** pelo apoio e incentivo.

Quero agradecer em particular o **Corpo Docente e Técnico** do Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia/ITEGAM, pelos conhecimentos e suporte prestados no decorrer de todo o curso.

Agradecer os **Membros Professores Doutores**, que compõem a Banca Examinadora, na qual tenho a honra e o privilégio de ser avaliado e assimilar todos os ensinamentos.

Epígrafe

“A mente que se abre a uma nova ideia jamais
voltará ao seu tamanho original”.

Albert Einstein

Dedicatória

A minha Mãe Maria Irene Lima, Tias Lucilene Soares Lima e Arinete Soares, minha esposa Zilanda Araujo, meus filhos Zayn Alexandre Lima e Alexandre Steven Lima e a toda minha família que, com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida.

RESUMO

CASTRO, Diego Alexandre de Lima. **SISTEMA DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL PARA IMPLANTAÇÃO DE MELHORIAS EM PROCESSOS INDUSTRIAIS**. 2022. p 89. Dissertação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Gestão de Processos, Sistemas e ambiental, Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (ITEGAM), Manaus, 2022.

A evolução tecnológica é fundamental para desenvolvimento da sociedade, seus benefícios trazem conforto, economia de tempo e celeridade para solucionar problemas do cotidiano. Em 2022 é indispensável o uso de produtos industrializados como aparelhos televisores, celulares, ar condicionados e automóveis, porém, essa aceleração no consumo de produtos industrializados desafia as indústrias a aperfeiçoarem seus processos de fabricação, tendo em vista a adaptação constante de seus processos pelo surgimento de novos produtos. Em busca de evitar prejuízos, as empresas buscam minimizar os problemas durante a implantação de novos layouts com simulação computacional. Logo, essa pesquisa tem o objetivo mostrar a utilização da simulação computacional no desenvolvimento de melhorias em processos industrializados. Os materiais e métodos aplicados foram obtidos através coletas de dados do processo, entrevista com colaboradores, identificação de gargalos, análise e simulação do novo modelo de Layout através do software *PLANT SIMULATION* T15. Para a viabilidade da pesquisa, no que concerne aos registros e observações, exigiu-se a confidencialidade do nome da empresa objeto de estudo, com o crescente aumento nas vendas de ar condicionado, a empresa em questão aumentou sua capacidade produtiva de 1490 unidades por dia, para 1800 unidades. Foram identificados oitos estações de trabalhos que irão ser modificadas, que são: Compressor, Manta Térmica, Tampa do compressor, Carga de gás, Teste de voltagem, Teste funcional, Embalagem e Etiquetagem. A nova proposta é implantar novo layout somado ao emprego de automação, máquinas e robôs industriais. Os resultados da pesquisa mostram que as técnicas de simulação computacional trouxe previsibilidade a problemas que uma vez identificados podem ser resolvidos antes de ser implantados. Após implantação do modelo simulado proposto, foram feitas novas medições, onde os resultados foram satisfatórios, atingindo a meta de 1800 unidades por dia, reinterando importância na utilização da simulação computacional em processos industriais.

Palavras-Chave: Processos Industriais, Automação, Simulação computacional, Plant Simulation, Ar condicionado.

ABSTRACT

CASTRO, Diego Alexandre de Lima. **COMPUTER SIMULATION SYSTEM FOR IMPLEMENTATION OF IMPROVEMENTS IN INDUSTRIAL PROCESSES**. 2022. p 89. Dissertation of the Graduate Program in Engineering, Process Management, Systems and environmental, Institute of Technology and Education Galileo of the Amazon (ITEGAM), Manaus, 2022.

The evolution of technology is fundamental to the development of society, its benefits bring comfort, time savings, and speed to solve everyday problems. In 2022 the use of industrialized products such as televisions, cell phones, air conditioners, and automobiles is indispensable; however, this acceleration in the consumption of industrialized products challenges industries to improve their manufacturing processes, in view of the constant adaptation of their processes by the emergence of new products. In order to avoid losses, companies seek to minimize problems during the implementation of new layouts with computer simulation. Therefore, this research aims to show the use of computer simulation in the development of improvements in industrialized processes. The applied materials and methods were obtained through process data collection, interviews with collaborators, bottleneck identification, analysis, and simulation of the new layout model using the PLANT SIMULATION T15 software. For the viability of the research, regarding records and observations, the confidentiality of the name of the company being studied was required. With the growing increase in sales of air conditioners, the company in question increased its production capacity from 1490 units per day, to 1800 units. Eight workstations were identified that will be modified, which are: Compressor, Thermal Blanket, Compressor Cover, Gas Charging, Voltage Test, Functional Test, Packaging and Labeling. The new proposal is to implement a new layout in addition to the use of automation, machines and industrial robots. The results of the research show that the computer simulation techniques brought predictability to problems that once identified can be solved before being implemented. After implementation of the proposed simulated model, new measurements were made, where the results were satisfactory, reaching the goal of 1800 units per day, reinterpreting the importance of using computer simulation in industrial processes.

Keywords: Industrial Processes, Automation, Computer Simulation, Plant Simulation, Air Conditioning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Princípios do Pensamento Enxuto.	29
Figura 2.2 - As Seis Grandes Perdas do Equipamento.	34
Figura 2.3 - Influência dos 5S na mudança organizacional.....	35
Figura 2.4 - As Fases do Ciclo PDCA.....	38
Figura 3.1 - Etapas da Metodologia Aplicada.	42
Figura 3.2 - Unidade Condensadora.....	44
Figura 3.3 - Unidade Evaporadora.	44
Figura 3.4 - Planta da linha atual.....	45
Figura 3.5 - Análise de balanceamento de processo.....	47
Figura 3.6 - Fixador manual de compressor.	49
Figura 3.7 - Inserção manual da manta térmica.	50
Figura 3.8 - Retirada da proteção do compressor.....	50
Figura 3.9 - HIPOT.....	51
Figura 3.10 - Controle de Gás R410.....	51
Figura 3.11 - Teste de desempenho e inserção manual de bolsa de proteção.	52
Figura 3.12 - Etiquetagem manual do aparelho.....	52
Figura 3.13 - Software plant simulation.	53
Figura 3.14 - Parâmetros de processo.....	54
Figura 3.15 - Parâmetros utilizados na simulação.....	54
Figura 3.16 - Equipamentos automatizados e robôs ABB.	55
Figura 4.1 - Modelagem da nova planta através do Plant Simulation.....	56
Figura 4.2 - balanceamento através do Plant Simulation.	57
Figura 4.3 - Fixação manual e automática do compressor.	58
Figura 4.4 - Inserção manual e proposta automática.....	59
Figura 4.5 - Retirada manual e proposta de retirada automática da tampa de proteção.	60
Figura 4.6 - Hipot operado por equipamento automático e por robô.	61
Figura 4.7 - Reposicionamento do teste de voltagem.....	62
Figura 4.8 - Carga de gás antes e proposta.....	63
Figura 4.9 - Teste de desempenho operado com 4 e 2 operadores.....	63
Figura 4.10 - Inserção manual e automática da bolsa de proteção.....	64

Figura 4.11 - Proposta de Etiquetagem automática.....	65
Figura 4.12 - Fixador de automático do compressor.....	66
Figura 4.13 - Inserção da manta térmica.	66
Figura 4.14 - Retirada da proteção do compressor automática.	67
Figura 4.15 - HIPOT automático.....	68
Figura 4.16 - Área de Gás R410.....	68
Figura 4.17 - Área de Teste de desempenho.	69
Figura 4.18 - Inserção da vinil de proteção automática.....	70
Figura 4.19 - Etiquetagem do aparelho automática.....	70
Figura 4.20 - Layout 2020 vs Layout 2021.	75
Figura 4.21 - Layout 2021.....	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Histórico de produção 2019.....	46
Tabela 3.2 - Estação de trabalhos a serem melhoradas.	48
Tabela 4.1 - Tabela de comparação de resultados.	72
Tabela 4.2 - Eficiência total do processo.....	73
Tabela 4.3 - Análise de balanceamento de processo.	76
Tabela 4.4 - Custos.	77
Tabela 4.5 - Cronograma de instalação do novo layout.	77

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 - Os 14 princípios de gestão da Toyota.	30
Quadro 4.1 - Vantagens e desvantagens para implementação do novo layout.	73

LISTA DE SIGLAS

<i>STP</i>	Sistema Toyota de Produção
<i>ME</i>	Manufatura Enxuta
<i>PIM</i>	Pólo Industrial de Manaus
<i>SAE</i>	Society for Automotive Engineers
<i>JIT</i>	Just In Time
<i>LM</i>	Lean Manufacture
<i>MPT</i>	Manutenção Produtiva Total
<i>JIPE</i>	Japanese Institute of Plant Engineers
<i>PDCA</i>	Plan, Do, Check, Action
<i>SDCA</i>	Standard, Do, Check, Action
<i>PBA</i>	Printed Board Assembly
<i>HIPOT</i>	High Potencial
<i>ABB</i>	Asea Brown Boveri
<i>LCIA</i>	Equipamento de Teste Automático

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	17
1 INTRODUÇÃO	17
1.1 JUSTIFICATIVA DA DISSERTAÇÃO	18
1.1.1 Contribuição e relevância do estudo	19
1.2 OBJETIVOS.....	19
1.2.1 Objetivo Geral	19
1.2.2 Objetivos Específicos	19
1.2.3 Delineamento da Pesquisa	20
1.3 ORGANIZAÇÃO DOS CAPÍTULOS.....	20
CAPÍTULO 2	22
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
2.1 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL.....	22
2.2 O NASCIMENTO DA PRODUÇÃO LEAN E DESAFIOS	23
2.2.1 O Conceito lean	24
2.3 PRINCÍPIOS DO PENSAMENTO ENXUTO	28
2.4 FERRAMENTAS LEAN.....	31
2.4.1 Diagnóstico no Gemba	31
2.4.2 Cinco Porquês	32
2.4.3 Manutenção Produtiva Total – MPT	33
2.4.4 Housekeeping – 5S	34
2.4.5 Melhoria Contínua – Kaizen	36
2.4.6 Kanban	36
2.4.7 PDCA e SDCA	37
2.5 AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL E AS PERSPECTIVAS DA INDÚSTRIA 4.0 ..	38
2.5.1 Processos Industriais	39
2.6 Expectativas para o Setor de Ar Condicionado.....	40

CAPÍTULO 3	42
3 MATERIAIS E MÉTODOS	42
3.1 SINTESE DO CAPÍTULO	42
3.1 ETAPA I - APRESENTAÇÃO DA EMPRESA	43
3.1.2 Síntese do Processo de Fabricação do Condicionador de Ar	43
3.1.3 Descrição Estrutural e Produtiva da Linha – Unidade Condensadora	45
3.1.4 Layout antigo	45
3.1.5 Coleta de dados e Análise do Processo Produtivo	46
3.2 ETAPA II – IDENTIFICAÇÃO DOS PONTOS DE GARGALOS E SELEÇÃO DOS POSTOS A SEREM MELHORADOS	48
3.2.1 Identificação do Problema	48
3.2.2 Cálculo da Capacidade de Produção	49
3.2.3 Estação de Trabalho Seleccionadas para Mudanças	49
3.3 ETAPA III – MODELAGEM E SIMULAÇÃO DAS MELHORIAS	53
3.3.1 Tempo de Produção (Takt Time)	53
3.3.2 Eficiência dos Processos (Eficiência Total das Estações)	55
3.4 ESCOLHA DOS EQUIPAMENTOS PARA AS MELHORIAS	55
CAPÍTULO 4	56
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	56
4.1 PROPOSTAS DE MELHORIAS PARA O PROCESSO DE PRODUÇÃO DA LINHA DA UNIDADE CONDENSADORA – SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL ..	56
4.1.1 Fixador de Compressor	57
4.1.2 Inserção de Manta Térmica	58
4.1.3 Retirada da Tampa de Proteção do Compressor	59
4.1.4 Hipot	60
4.1.5 Controle de Gás R410	62
4.1.6 Teste de Desempenho	63
4.1.7 Inserção de Vinil de Proteção	64

4.1.8 Etiquetagem	65
4.2.1 Fixador de Compressor	65
4.2.2 Inserção da Manta Térmica.....	66
4.2.4 Teste de HIPOT	67
4.2.5 Carga de Gás	68
4.2.6 Teste de Desempenho	69
4.2.7 Inserção da Bolsa de Proteção	69
4.2.8 Etiquetagem	70
4.3 TAMANHO DA LINHA.....	71
4.4 CAPACIDADE DE PRODUÇÃO	71
4.5 TEMPOS DE PRODUÇÃO	72
4.6 EFICIÊNCIA	72
4.7 VANTAGENS E DESVANTAGENS	73
4.7.1 Painel de Melhorias – Antes e Depois	74
4.7.2 Novo Layout	75
4.7.3 Análise de Resultados Após as Instalações das Melhorias.....	76
4.8 CUSTOS	76
4.9 CRONOGRAMA DE ATIVIDADES.....	77
CAPÍTULO 5	79
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	79
5.1 CONCLUSÕES	79
5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	80
REFERÊNCIAS.....	81

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO

O avanço tecnológico nos últimos anos trouxe diversos benefícios à sociedade, os setores de bem estar e saúde são destaque, produtos como aparelhos celulares, televisores e computadores são indispensáveis atualmente, porém, o consumo desenfreado de produtos industrializados tem desafiado as empresas do setor manufatureiro a aumentar drasticamente a eficiência do seu processo produtivo, uma vez que o surgimento de novos modelos e produtos faz com que as indústrias ajustem seus layouts constantemente.

A busca por ferramentas simulação computacional que facilitam esses ajustes é cada vez mais comum. A Simulação computacional são técnicas matemáticas empregadas a um software que permite imitar o funcionamento do objeto físico através de computadores, essa técnica permite analisar os resultados gerados, gerando confiabilidade e previsibilidade nos projetos. Esses softwares são fundamentam no desenvolvimento de novos projetos a um baixo custo, pois permite a tomada de decisões mais consistentes em sistemas que apresentam um alto número de variáveis. Imagens gráficas de tecnologia de simulação tridimensional por computador são amplamente utilizadas na indústria, técnicas incluem principalmente software de simulação 3D e algumas ferramentas de modelagem (LUO, 2021).

Desde o seu nascimento nos anos 50 no Japão, a Manufatura Enxuta (LM) foi definida de várias maneiras por pesquisadores e profissionais. Muitas dessas definições referem-se à manufatura enxuta (LM) como um sistema sócio-técnico complexo composto de uma combinação de práticas sinérgicas e que se reforçam mutuamente, onde os aspectos técnicos e humanos devem ser cuidadosamente integrados. As empresas que trabalham com produção em larga escala vêm sofrendo grandes transformações em seus aspectos econômicos e tecnológicos. Todo esse processo de adaptação acontece de forma rápida e dinâmica, exigindo das organizações máximo empenho na manutenção de seus processos produtivos e sistemas de qualidade. Com isso, as empresas buscam cada vez mais melhorarias em seus processos, sendo reduzindo custos, aumentando a produtividade e melhorando a qualidade dos produtos.

A manufatura enxuta se concentra na eliminação de desperdícios em todo o processo de manufatura. Eliminar o desperdício em todos os fluxos de valor agrega valor ao processo, ao produto e a toda a cadeia de suprimentos. As práticas de melhoria contínua são cada vez mais comuns entre todos os tipos de empresas como um meio para alcançar a excelência

empresarial. Com a evolução tecnologia, os processos industriais estão cada vez mais automatizados. Por outro lado, os sistemas de trabalho de montagem manual trazem alta flexibilidade, mas baixa produtividade em comparação aos sistemas totalmente automatizados. Para aumentar a produtividade, mas manter a flexibilidade, os sistemas futuros precisam incorporar maiores níveis de automação que complementam ou aumentam as capacidades dos operadores humanos que fornecem o trabalho manual. A automação nos processos industriais traz benefícios significativos para a empresa e para o funcionário, com a redução de esforço físico e lesão corporal.

A relação de produtividade e ambiente de trabalho confortável facilita a empresa atingir suas metas e garante a satisfação do colaborador, evitando licenças médicas ocasionado por lesões no trabalho.

Historicamente, a mecanização – como o uso dos mecanismos de temporização para disparar a lingueta da alavanca de uma catraca – ajudou os humanos na realização de tarefas com exigências físicas. A automação, porém, vai além da mecanização, pois reduz a necessidade de requisitos sensoriais e mentais humanos, além de aperfeiçoar a produtividade (LAMB, 2015).

Atualmente, a empresa vê a necessidade por transformações em seus aspectos tecnológicos e econômicos. De encontro a isso, todas as adaptações propostas neste estudo resultarão no melhoramento de seus processos produtivos, bem como na redução de custos e no aumento da produtividade e da qualidade de seus produtos. Para o alcance de tais metas, observou-se a necessidade de descrever o atual processo produtivo da respectiva linha, apresentando o atual layout; síntese do processo produtivo da linha; descrição dos resultados obtidos, bem como apontamento de vantagens e desvantagens inerentes a implementação do novo layout. Espera-se tornar o processo produtivo da linha mais enxuto, reforçando as práticas sinérgicas, integrando cuidadosamente aspectos técnicos e humanos.

1.1 JUSTIFICATIVA DA DISSERTAÇÃO

O crescimento no consumo de produtos industrializados desafia as indústrias a aperfeiçoarem os processos de fabricação, a produção industrial cresceu no Brasil 3,9% em 2021 (IBGE, 2021), o surgimento de novos produtos e modelos tem contribuído para o crescimento do setor, a variedade de produtos faz com que empresas aperfeiçoem rapidamente os processos produtivos para atender a alta demanda do mercado.

A simulação computacional é uma ferramenta de design industrial que está cada vez mais presente nas industriais, pois permite previsibilidade, confiabilidade antes da etapa de construção, reduzindo custos e agilizando projetos. A simulação computacional surge como alternativa para as industriais minimizarem os erros de projetos, bem como se adaptar as mudanças que o mercado demanda.

1.1.1 Contribuição e relevância do estudo

A pesquisa tem como contribuição o desenvolvimento de um modelo computacional simulado, capaz de prever problemas em processos industriais, que uma vez identificados podem ser resolvidos antes de ser implantados, assim proporcionando um melhor planejamento e evitando gastos adicionais com retrabalhos de erros projetos. A proposta finalística presente nesta pesquisa tem como foco disseminar conhecimentos teóricos e práticos para a comunidade científica (acadêmica), indústrias do segmento, bem como a sociedade em geral, nos seguintes aspectos, a saber:

- Simulação computacional de processos industriais;
- Melhoria contínua em processos industriais;
- Aumento da confiabilidade e previsibilidade.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

A pesquisa tem como objetivo desenvolver modelo de simulação computacional, afim prever e evitar problemas no desenvolvimento de layouts, implantação de melhorias em processos industriais. Assim, evitando gastos adicionais com retrabalhos e dando mais confiabilidade e previsibilidade nos resultados.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Coleta e análise do processo produtivo atual e identificação de problemas que impossibilita atingir 1800 unidades diárias;

- Desenvolver layout que redução de mão de obra e propor melhorias que promovam maior capacidade produtiva somada à qualidade, eficiência e diminuição dos desperdícios;
- Resolver problemas ergonômicos na estação de trabalho ‘retirada da tampa do compressor’;
- Simular no software *plant simulation* novo layout, onde será corrigido problemas identificados no item anterior;
- Apontar vantagens e desvantagens da implementação do novo projeto.

1.2.3 Delineamento da Pesquisa

O Processo de fabricação de ar condicionado possui várias etapas a serem avaliadas, pois envolvem muitas etapas de fabricação, o ar condicionado é composto de dois produtos, a unidade interna e unidade externa, cada unidade são fabricadas de forma independente, em processos distintos. Essa dissertação tem como um estudo de caso do processo de fabricação da unidade externa, ou unidade condensadora.

1.3 ORGANIZAÇÃO DOS CAPÍTULOS

A dissertação está estruturada da seguinte forma:

O **Capítulo I** foi mostrado à introdução sobre o tema, identificação e justificativa do problema, os objetivos, contribuição e relevância do estudo e delimitação da pesquisa. Essa etapa é fundamental para compreender objetivo da pesquisa;

O **Capítulo II** é apresentado uma revisão de literatura sobre o tema, traz uma revisão histórica e conceitual da produção *lean*. Aborda as contribuições de Eiji Toyota, Taiichi Ohno e Kiichiro Toyoda em relação ao ambiente de negócios em que a Toyota enfrenta em 1950. Os desafios vividos pela Toyota foi um catalizador para o Sistema Toyota de Produção, o mais importante exemplo mundial de produção *lean*. Também apresenta os princípios do pensamento enxuto, bem como as principais ferramentas utilizadas para a transformação organizacional, tais como: Diagnóstico no *Gemba*, Cinco Porquês, Manutenção Produtiva Total, 5S, Kaizen, Kanban, PDCA e SDCA;

O **Capítulo III** é apresentado os materiais e métodos utilizados para obtenção dos resultados e conclusões, também é feita a apresentação estrutural e produtiva da linha em estudo, além de trazer uma síntese do processo produtivo;

Capítulo IV apresenta resultados e discussões obtidas. As propostas de melhorias, os resultados relativos à modelagem e simulação das propostas, além das vantagens e desvantagens alcançadas na aplicação do novo;

Capítulo V é apresentado às conclusões e algumas sugestões para trabalhos futuro.

CAPÍTULO 2

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este Capítulo traz uma revisão histórica e conceitual dos sistemas de simulação computacional bem como os da produção *lean*. Aborda as contribuições de Eiji Toyota, Taiichi Ohno e Kiichiro Toyoda em relação ao ambiente de negócios em que a Toyota enfrenta em 1950. Os desafios vividos pela Toyota foi um catalizador para o Sistema Toyota de Produção, o mais importante exemplo mundial de produção *lean*. Também são apresentados os princípios do pensamento enxuto, bem como as principais ferramentas utilizadas para a transformação organizacional, tais como: Diagnóstico no Gemba, Cinco Porquês, Manutenção Produtiva Total, 5S, Kaizen, Kanban, PDCA e SDCA.

2.1 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

O design do layout de uma fábrica deve ser versátil, a aplicação de melhorias continua é uma questão vital para a sobrevivência das indústrias no mundo de hoje. A necessidade de construir um novo layout ou reconfigurar o atual, aumentou devido às rápidas mudanças tecnológicas e ao crescimento no consumo de produtos industrializados nos últimos anos. A variedade de produtos e variedade modelos no mercado faz com que as empresas a ajustem seus processos produtivos constantemente, uma vez que novos modelos surgem a todo o momento. Isto exige que as empresas sejam mais ágil para planejar, desenhar e reconfigurar a fábrica layout para assim, poder introduzir novos produtos no mercado e manter a sua força competitiva (SHARIATZADEH *et al.*, 2012).

O layout de fábrica fornece a base para uma produção lucrativa. Projetar uma fábrica significa concepção de um sistema composto por componentes de vários tipos - tais como construção, maquinário, fundações, meios de comunicação (refrigeração, eletricidade e demais utilidades) e materiais de insumos para produzir – desenvolvido por diferentes partes interessadas, logo criar processos eficientes é importante para evitar gastos adicionais com retrabalhos, sistemas de simulação computacional buscam através de ensaios simulados, melhores resultados e previsibilidade na criação de layouts industriais (SHARIATZADEH *et al.*, 2012).

A Indústria 4.0 está transformando a forma como o processo de simulação é aplicado. As tecnologias de design computacional permitem simular sistemas complexos,

fazendo a interação entre homem-robô, implementando mudanças de maneira econômica e em termos de tempo e custo (PELLICCIA, 2021).

2.2 O NASCIMENTO DA PRODUÇÃO LEAN E DESAFIOS

No ano de 1950, o jovem engenheiro japonês Eiji Toyota visitava em Detroit a mais complexa fábrica manufatureira do mundo, a Rouge da Ford. Ao retornar ao Japão, Eiji e seu gênio de produção, Taiichi Ohno, concluíram que o sistema de produção da Rouge não seria viável no Japão. No entanto, chegaram à conclusão que existia a possibilidade para o melhoramento do sistema de produção da Toyota Motor Company. Tanto o Japão quanto a Toyota, que havia sido fundada pela família de Eiji Toyota, em 1937, estavam em crise. Após treze anos de esforço, a Toyota conseguiria produzir apenas 2.685 automóveis, em oposição à fábrica da Ford que produzia 7.000 automóveis por dia. A Toyota enfrentava a bancarrota, uma vez que as vendas despencavam e os empréstimos bancários se esvaziavam. Diante disso, seu presidente, Kiichiro Toyoda, propôs uma medida drástica, que seria a demissão de um quarto da mão-de-obra. Logo, a empresa se encontrara em uma grande revolta. Graças às pesadas leis trabalhistas da época, mais precisamente em 1946, o sindicato da empresa se encontrava em uma posição de forte barganha. Incentivado pelos americanos, o governo japonês fortalecera os direitos dos sindicatos e impusera severas restrições aos donos de empresas quanto à demissão de funcionários (DENNIS, 2008). Após esgotadas as negociações, o sindicato e a família chegaram a um acordo (DENNIS, 2008):

1. Como proposto originalmente, um quarto da mão-de-obra fora dispensado.
2. Tomando responsabilidade pelo fracasso da empresa, Kiichiro Toyoda renunciou à Presidência da empresa.
3. A mão-de-obra remanescente recebeu duas garantias:
 - Emprego vitalício.
 - Pagamento vinculado a lucratividade e senioridade.

Ademais, as instalações da Toyota como recreação e moradia foram abertas aos funcionários. Em contrapartida, os funcionários concordaram em ser flexíveis quanto às funções no trabalho, bem como em apoiar ativamente os interesses da empresa em esforços de melhoria. Esse incrível acordo conserva-se até hoje como modelo das relações trabalhistas na indústria automotiva japonesa. Porém, existiam sérias implicações, como: (JUSTA, 2016, p. 88).

1. Os funcionários eram agora um custo permanente, junto ao maquinário da empresa. Com essa mudança, a empresa precisava obter o máximo do seu capital humano, pois faria sentido realçar constantemente as habilidades dos trabalhadores, beneficiando-se do conhecimento e experiência deles.
2. Era compreensivo para os funcionários permanecer na empresa, pois um funcionário com uma idade de quarenta anos, porém exercendo a mesma função de um funcionário de vinte anos, recebia um salário consideravelmente mais alto. Se aquele de quarenta anos pedisse demissão e fosse admitido por outra empresa, teria que começar por baixo em termos salariais.

Surge, assim, a base para um contrato de emprego baseado na cooperação, flexibilidade e em benefícios mútuos. Criando-se, então, a produção *lean*. O Sistema Toyota de Produção foi a chave para a solução dos problemas da empresa. Taiichi Ohno conseguiu resolver inúmeros problemas, Ohno não tinha um orçamento suficiente para a compra de enormes máquinas semelhantes as da Rouge, pois usar uma máquina de prensa para uma única peça estava fora de cogitação. Em vez disso, a ideia era uma máquina que prensasse várias peças de uma só vez. Isso consistia em lotes menores e trocas rápidas de ferramentas, ou matrizes. Surpreendentemente, Ohno e os trabalhadores criaram a troca rápida de matriz, fazendo-a em questão de minutos. Descobriu-se que produzir lotes menores com trocas rápidas resultava em economia de custos e no aumento da qualidade, pois os defeitos logo eram detectados (DENNIS, 2008).

Ao final dos anos 60, Taiichi Ohno havia estabelecido suas ideias nos processos produtivos da Toyota, tendo como próximo passo, a implementação do sistema *lean* pelos próprios fornecedores da empresa. A Toyota conseguiu grandes transformações, porém a base de constantes reduções nos custos de peças a cada ano. Assim, o sistema Toyota permaneceu por toda a cadeia de fornecimento até o final dos anos 70 (WOMACK, 2000). Sabe-se, porém, que o sistema de Ohno é hoje mais relevante do que nunca.

2.2.1 O Conceito lean

Devido ao aumento das necessidades de melhorias e mudanças organizacionais, emerge no ocidente, o termo *Lean* que significa enxuto, cunhado no livro “A Máquina que Mudou o Mundo” que trata de um amplo estudo sobre o Sistema Toyota de Produção. O

termo difundido no ocidente por (Womak, Jones e Roos, 1992) resultou de uma pesquisa pela Massachusetts Institute of Technology – como uma vasta descrição de todo o sistema de negócios da empresa Toyota, a saber: desenvolvimento de produtos, relações com os consumidores, gerenciamento de suprimentos, aumento de pedidos a partir da matéria-prima até a produção e, por fim, o gerenciamento de toda a organização.

Conforme Justa (2016, p. 86), *lean* tem sido um novo paradigma indispensável para a mudança da operação de forma competitiva, colaborando para as práticas de identificação, eliminação de desperdícios e incessante melhoramento da qualidade no sistema produtivo, além de colaborar com a redução dos custos e aumentar a agilidade no atendimento às necessidades dos clientes. Por isso, a razão de muitos nomearem de manufatura enxuta – ME. Esse novo paradigma é proveniente dos últimos 50 anos, estando o Japão a despontar como liderança em programas de melhorias da qualidade e produtividade. Apesar disso, essa posição de liderança dos japoneses em programas de melhorias nem sempre fora reconhecida no primeiro momento, uma vez que o país apenas fornecia produtos de baixa qualidade no período de reconstrução pós-guerra. A urgência pela recomposição das indústrias e exportação de produtos manufaturados fez surgir, entre outras ferramentas, o STP (Sistema de Toyota de Produção), que visava reverter o cenário do país, conhecido por fornecer produtos de baixa qualidade. Ainda que visto como um novo paradigma, o STP havia surgido de um outro sistema pertencente a fábrica da Ford, considerada até então a unidade mais complexa e eficiente do mundo.

Nisto, Eiji Toyota e seu principal engenheiro de produção, Taiichii Ohno, perceberam que esse sistema de produção em massa seria inviável no Japão, em razão do modelo padrão apresentar poucas alternativas de escolha para o cliente, desse modo houve a necessidade por uma nova abordagem de produção (OHNO, 1997). De forma geral, o *Lean Manufacturing* compreende a aplicabilidade de práticas que visam identificar e eliminar desperdícios no sistema produtivo, tal como na busca incessante por melhorias na qualidade, redução dos custos e maior flexibilidade (JUSTA, 2016, p. 88).

(WOMAK e JONES, 2004) definem desperdícios como qualquer atividade que consome recurso, porém sem criar valor, sendo o valor a capacidade de prestar um serviço ou oferecer um produto com um preço conveniente e no momento certo, conforme estabelecido pelo consumidor. Em vista disso, a produção enxuta tem como base a redução de custos com a produção e satisfação do cliente. Isso só é possível através da eliminação dos desperdícios. A filosofia da manufatura enxuta é tão poderosa que (SHINGO, 1996) utiliza uma metáfora

para explicá-la, afirmando o seguinte: “a filosofia é tão poderosa que poderia extrair água torcendo uma toalha seca”.

(OHNO, 1997) determina como primeiro passo para a aplicação da manufatura enxuta: identificação e eliminação de sete desperdícios, nas quais são:

1. Excesso de produção sem necessidade;
2. Espera de equipamentos pelos colaboradores para finalizar uma atividade;
3. Transporte desnecessário de mercadorias;
4. Processamento irrelevante, devido ao projeto inadequado de produtos e ferramentas;
5. Estoque à espera de consumo;
6. Aglomeração desnecessária de pessoas;
7. Produção de produtos com defeitos.

Segundo (LIKER, 2005), mais um desperdício foi adicionado: a não utilização da criatividade. Pode-se concluir então, que os desperdícios são males que prejudicam a continuidade das empresas, seja de qual ramo for. O desperdício consome os recursos sem acrescentar valor ao processo, ou seja, traz prejuízo e ameaça a sobrevivência da empresa e a empregabilidade dos funcionários. Por isso, a eliminação dos desperdícios é a meta indispensável a ser atingida pelas empresas que buscam se tornar competitivas.

Para (WOMACK e JONES, 2004) há várias definições para a ME, entre elas: uma abordagem que busca melhor organizar e gerenciar os relacionamentos de produtos e operações de produtos, sendo feito com menor esforço humano, com menor tempo e com menor custo etc. No entanto, é preciso, antes de tudo, compreender a sua natureza, depositando tempo no local de trabalho e instruindo-se sobre o mapeamento das atividades que agregam valor, com o propósito de melhorar a quantidade dos processos e produtos, bem como redução dos custos (OHNO, 1997).

(JUSTA, 2016) recomenda em relação ao mapeamento das atividades do processo produtivo, investimento de tempo no ambiente de trabalho, com o intuito de apurar os desperdícios mais detalhadamente. Porém, há também a necessidade de uma alta maturidade de todas as pessoas envolvidas para que as atividades possam ser desenvolvidas de modo contínuo e autogerenciada.

A concretização da filosofia *lean* requer uma abordagem sistêmica, onde uma série de aspectos da organização é modificada. Logo, alguns pré-requisitos precisam ser considerados, especificamente: mudança para a mentalidade enxuta; local de trabalho flexível; capacitação dos colaboradores; comunicação e trabalho em equipe; e, conhecimento de processos e fluxos (JUSTA, 2016, p. 91).

(HINES e TAYLOR, 2000) sugerem que é preciso equipar os operários com óculos que os ajudem a enxergar as perdas. A ideia é criar uma cultura que os encorajem a eliminar as perdas identificadas no processo produtivo.

(SLACK, CHAMBERS e JONHSTON, 2002) afirmam a necessidade do total envolvimento das pessoas para a implementação da produção enxuta, visto que os funcionários são motivados e treinados para abraçar responsabilidades em qualquer trabalho que realizem. (Corrêa e Corrêa, 2004) salientam que a inserção da maioria das técnicas da produção enxuta é frequentemente em longo prazo de maturação.

(LIKER, 2005) julga que os princípios necessários para o sucesso *lean manufacturing* nas empresas está principalmente na valorização da organização através do desenvolvimento de seus colaboradores. Destaca-se que um dos principais desperdícios é a não utilização da criatividade das pessoas que atuam na organização. O autor também ressalta a possibilidade de apenas estar seguindo alguns princípios do lean, mesmo tendo variedades das ferramentas do *lean manufacturing*. O resultado será saltos de curto prazo nas medidas de desempenho, porém não serão sustentáveis. Do contrário, se praticada a excelência de todos os princípios do *lean*, estará a organização a caminho da vantagem competitiva. Uma pesquisa realizada com pequenas e médias empresas no Reino Unido concluiu que a liderança, a cultura organizacional, as finanças, o conhecimento e a habilidade são os fatores mais críticos para o sucesso da implementação da produção enxuta (ACHANGA et. al, 2006).

(BALLÉ e BALLÉ, 2007) afirmam que muitas das tentativas de implementação do sistema *lean* fracassa nas empresas, uma vez que não adianta apenas adquirir as ferramentas, os princípios, especialistas ou vocabulário, na verdade é preciso, acima de tudo, incorporar o local de trabalho (*gemba*) para que o sistema possa prosperar.

(FEITOSA et. al. 2007) conclui que a Toyota valoriza mais do que a tecnologia, valoriza as pessoas, com destaque para a tomada de decisões conjuntas, focada na localização das perdas. (LORENZATTO e RIBEIRO, 2007) afirmam que a aplicação simples de ferramentas e conceitos pertinentes ao *lean* não será o bastante para tornar uma organização enxuta. Para esse objetivo, é fundamental a compreensão da filosofia da eliminação dos desperdícios por parte de todos que compõe o sistema, além do comprometimento com a satisfação dos clientes.

(CORDEIRO, 2007) corrobora afirmando que a aplicação dos princípios e técnicas da produção enxuta está alusiva com a mudança de paradigma. Em contrapartida, o autor aponta que a grande parcela das dificuldades na implementação do sistema *lean* no Brasil está relacionada na dificuldade em compreender o significado da produção enxuta. Ressalta-se,

ainda, que as empresas, principalmente as brasileiras, não estão dispostas em investir em capacitação de seus funcionários e esperar o tempo necessário para que os resultados apareçam. Pelo contrário, acabam deixando de implementar componentes primordiais alegando poucos resultados.

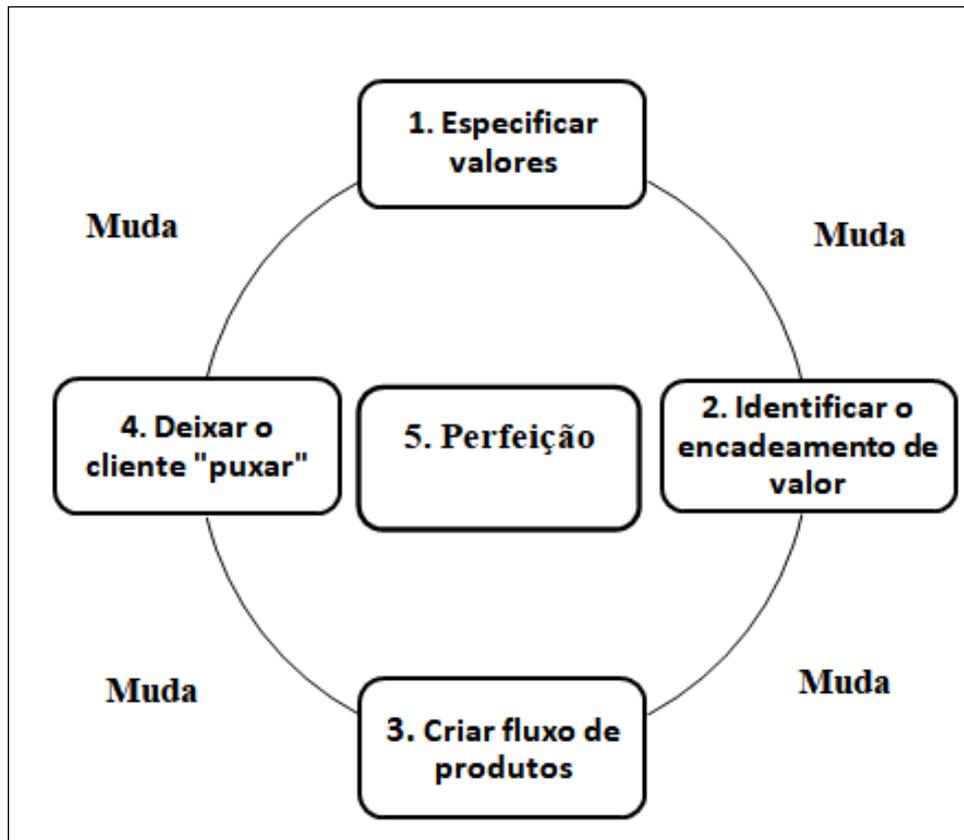
Segundo (LIMA e ELIAS, 2007), o motivo do fracasso na implementação do *lean* está na tentativa das organizações em criar sistemas próprios de produção focados exclusivamente em algumas ferramentas sem entendimento prévio dos princípios do sistema e filosofia. Lima e Elias ainda completam que, nem sempre a utilização de uma ferramenta por uma empresa terá os mesmos resultados em outra de igual porte e ramo de atuação, uma vez que possuem particularidades e métodos de gestão.

Outros autores, como (FILHO e FERNANDES, 2005), conceituam esses princípios como as ideias que orientam uma decisão ou ação, ou seja, os princípios representam “o quê” deve ser atingido. Já as ferramentas são definidas como capacitadores, ou seja, eles representam “como” atingir um princípio. Os autores ainda alertam que há uma estreita relação entre princípios e capacitadores, pelo qual se torna imprudente separá-los, pois, para que os princípios sejam alcançados, é necessário concretizar os capacitadores. Dessa forma, dar foco apenas na introdução de algumas ferramentas significara insucesso na implementação do *Lean*.

2.3 PRINCÍPIOS DO PENSAMENTO ENXUTO

A necessidade de reduzir custos tem feito muitas empresas encarar o desafio de adotar a manufatura enxuta, a qual foca na minimização de desperdícios (GAMAGE ET AL., 2012). Os fatores-base que conduzem a filosofia de pensamento enxuto, consequentemente eliminando desperdícios durante a produção ou condução das informações, buscando atingir, ou até superar, as expectativas dos clientes, de acordo com (WOMACK e JONES, 2004) (HARRISON e HOEK, 2003), a Figura 2.1, apresenta os princípios do pensamento enxuto:

Figura 2.1 - Princípios do Pensamento Enxuto.



Fonte: Adaptada de (HARRISON e HOEK, 2003).

1. Valor: Identificar o que é de valor para o cliente.
2. Fluxo de valor: analisar o fluxo de valor para cada produto/serviço, eliminando os processos e as atividades que não adicionam valor (ineficiências).
3. Fluxo: estabelecer fluxo contínuo e puxado, fazendo o processo fluir.
4. Produção puxada: deixar que o cliente ou usuário puxe o valor, produzir somente aquilo que for necessário/solicitado e repor somente o que foi consumido.
5. Perfeição: promover a melhoria contínua, eliminando o total desperdício para que todas as atividades ao longo de um fluxo de valor criem valor.

Outros princípios apontados por (WOMACK, JONES e ROOS, 1992) que caracterizam essa filosofia são:

- a. Prevenir defeitos em vez de da correção posterior;
- b. Flexibilidade e organização por meio de times de trabalho formados por operadores multifuncionais;

- c. Praticar a solução das causas de problemas, buscando maximizar a agregação de valor ao produto.

Baseados no conceito de (TAIICHI OHNO, 1997), (WOMACK e JONES, 1996) descrevem, genericamente, por meio de um kit de ferramentas, como o pensamento enxuto pode ser aplicado nas empresas e expressivos ganhos podem ser conseguidos. Os elementos-chave dessas ferramentas são:

- nivelar o fluxo de pedidos e trabalho eliminando todas as causas de demanda de distorção ou amplificação;
- organizar o trabalho de modo que o produto flua diretamente de operação em operação sem qualquer interrupção;
- somente fazer ou transmitir o que é pedido pelo passo seguinte; não mais e não menos; vender um, pedir um;
- trabalhar do começo ao fim do mesmo sistema no mesmo ritmo que a demanda dos clientes;
- padronizar o melhor ciclo de trabalho para cada tarefa a fim de assegurar uma atuação consistente;
- padronizar e minimizar o estoque de segurança necessário entre operações;
- fazer toda a operação detectar e parar quando um erro ocorrer, com isso não conseguirá ir adiante;
- manejar irregularidades e prioridades em vez de conduzir a causa da eliminação para evitar repetições e para retirar lixo do fluxo.

Em busca de reduzir seus custos e realizar a produção com o mínimo de desperdício, as empresas encontram no Lean um caminho atingir esses objetivos. No Quadro 2.1, apresenta os 14 princípios de gestão da Toyota são descritos por (LIKER, 2005).

Quadro 2.1 - Os 14 princípios de gestão da Toyota.

Os 14 princípios de gestão Toyota	
1	Basear as decisões administrativas em uma filosofia de longo prazo, mesmo que em detrimento de metas financeiras de curto prazo.
2	Criar um fluxo de processo contínuo para trazer os problemas à tona.
3	Usar sistemas puxados para evitar a superprodução.
4	Nivelar a carga de trabalho.
5	Construir uma cultura de parar e resolver problemas, mas obter a qualidade desejada logo na primeira tentativa.

Os 14 princípios de gestão Toyota	
6	Tarefas padronizadas são a base de melhoria contínua e da capacitação dos funcionários.
7	Usar controle visual para que nenhum problema fique oculto.
8	Usar somente tecnologia confiável e plenamente testada que atenda os funcionários e aos processos.
9	Desenvolver líderes que compreendam completamente o trabalho, vivam a filosofia e a ensinem aos outros.
10	Desenvolver pessoas e equipes excepcionais que sigam a filosofia da empresa.
11	Respeitar sua rede de parceiros e fornecedores, desafiando-os e ajudando-os a melhorar.
12	Ver por si mesmo para compreender completamente a situação.
13	Tomar decisões lentamente por consenso, considerando completamente todas as opções; implementá-las com rapidez.
14	Tornar-se uma organização de aprendizagem pela reflexão incansável e pela melhoria contínua.

Fonte: (Liker, 2005).

Os princípios do pensamento enxuto, busca identificar e eliminar as atividades que não agregam valor ao produto ou à informação, verifica-se uma diversidade significativa de ferramentas como: *Just In Time* (JIT); automação (jidoka); kanban; mapeamento do fluxo de valor; linha de produção flexível, entre outras, as quais aplicadas adequadamente auxiliam no atendimento dos objetivos propostos por essa filosofia. No entanto, o pensamento enxuto não pode ser visto como um leque de ferramentas e técnicas a serem implantadas sem critérios; é um sistema que integra princípios, técnicas operacionais e ferramentas que orientam a busca pela perfeição na criação de valor ao cliente.

2.4 FERRAMENTAS LEAN

2.4.1 Diagnóstico no Gemba

De forma resumida, o diagnóstico no Gemba é uma questão de juntar e avaliar informações que serão utilizadas. Contudo, antes de propor uma mudança, é imprescindível realizar um diagnóstico organizacional, com o intuito de conhecer a situação presente (LIKER, 2005).

Segundo (JUSTA, 2016), não existe apenas um diagnóstico, já que cada um deles é resultado do conjunto de variáveis que se pretende examinar.

Para (LIKER, 2005), o diagnóstico é um processo de examinar *in loco* os problemas da área estudada. O objetivo é conhecer, inquirir e analisar as informações e os fatos que

ajudam a identificar as características dos processos dos trabalhos, os fluxos de comunicação e a relação mútua entre as distintas áreas organizacionais. Sendo assim, tem o propósito de determinar os aspectos restritivos que movimentam os sistemas de gestão, bem como os resultados atuais da organização. O autor ainda ressalta sobre o importante papel do líder nesse processo, uma vez que deve compreender as situações de trabalho a começar pelo próprio entendimento, por meio direto no gemba, ou seja, no próprio local de trabalho. Recomenda-se buscar as informações, propor ações corretivas e entender fortemente os detalhes, praticamente quanto seus colaboradores.

(LIKER, 2005) também adverte que a liderança tradicional muitas vezes se baseia demais em relatórios e em informações incertas, visto que fazem muitas reuniões e creem controlar tudo a distância. Por isso, acabam tornando-se autoritários por fundamentarem suas decisões em sua posição. Abandonam cada vez mais seu local de trabalho (gemba), aumentando assim a sua ignorância. Logo se cria um círculo vicioso em que a ausência de conhecimento devido a distância gera desconhecimento.

Para (JUSTA, 2016), o diagnóstico no gemba deve começar com um comentário do tipo “as coisas não estão fluindo tão bem como costumava acontecer” ou “por que os resultados de tal ação estão abaixo do esperado?”. Análises de dados existentes, observação de rotinas desempenhas pelo Rh, bem como entrevistas podem ser utilizadas para unir informações. Geralmente, a análise das informações engloba comparações com algum tipo de procedimento padrão operacional articulado pela equipe responsável pelo diagnóstico. Por fim, a comparação fundamentada nas informações extraídas preconiza futuras ações. Tais ações são os passos requisitados para levar a organização do estado atual para um estado de futuro projetado.

2.4.2 Cinco Porquês

(OHNO, 1997) afirma que por traz de cada causa precisamos identificar a causa perguntando: por quê? por quê? por quê? por quê? por quê? Caso contrário, as medidas não podem ser tomadas e os problemas não serão verdadeiramente resolvidos. O exemplo a seguir demonstra como a técnica é usada:

- a) Por que a máquina parou? Porque houve uma sobrecarga e o fusível queimou;
- b) Por que houve uma sobrecarga? Porque o manual não estava suficientemente lubrificado;

- c) Por que não estava suficientemente lubrificado? Porque a bomba de lubrificação não estava bombeando suficientemente;
- d) Por que não estava bombeando suficientemente? Porque o eixo da bomba estava gasto e vibrando;
- e) Por que o eixo estava gasto? Porque não havia uma tela acoplada e entrava limalha.

Desta forma, repetindo por cinco vezes, pode-se ajudar a descobrir a raiz do problema e corrigi-lo. Se esse procedimento não tivesse sido realizado, possivelmente ter-se-ia apenas substituído o fusível ou o eixo da bomba. Nesse caso, o problema reapareceria dentro de poucos meses.

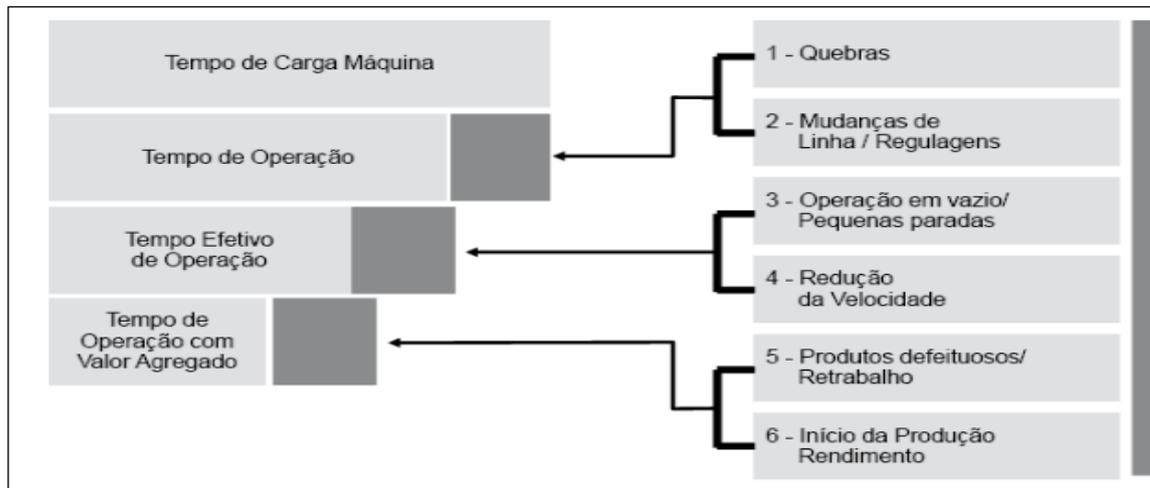
2.4.3 Manutenção Produtiva Total – MPT

A *Total Productive Maintenance* (TPM) surgiu em 1971, no Japão, iniciando através da cristalização de técnicas de manutenção preventiva, visando zero falha, zero quebra de máquinas, zero defeito nos produtos e zero de perdas nos processos. O termo MPT busca maximizar a eficiência do sistema de produção, eliminando todas as perdas, potencializando o ciclo total de vida útil dos equipamentos, abrangendo todos os departamentos da empresa e envolvendo todos os funcionários (JUSTA, 2016, p. 46).

(SHARMA et al., 2006) descreve como todo vínculo de sinergia entre as funções organizacionais, de maneira a promover a manutenção produtiva através de uma coordenação voluntária e motivacional nos pequenos grupos de atividades. A manutenção produtiva na qual é chamada de atividades de aperfeiçoamento, acontece através da interação entre técnicos e operadores, com o objetivo de solucionarem em grupo os problemas dos equipamentos. O primeiro pilar, que é a manutenção autônoma, os operadores se encarregam de várias responsabilidades em seus postos de trabalho, bem como em seus equipamentos.

Assim, ocorrendo uma mudança de mentalidade do tipo “eu fabrico, você conserta” para o novo “do meu posto de trabalho ou equipamento cuido eu”. Dessa forma, consistindo em agregar aos operadores de máquinas, atividades de conservação, pequenos reparos em seu equipamento, limpeza, inspeção, monitoramento e prevenção das seis grandes perdas do equipamento, logo podemos observar na Figura 2.2, os seis perdas do equipamento:

Figura 2.2 - As Seis Grandes Perdas do Equipamento.



Fonte: Justa, (2016).

(TONDATO e FOGLIATTO, 2005) explicam que a MTP tem em sua base oito pilares, nas quais: 1) Manutenção Autônoma –, que envolve habilidade técnica e capacitação; 2) Manutenção Planejada –, que envolve a quebra zero, aumento da eficácia e eficiência dos equipamentos; 3) Melhoria do Equipamento –, que tem como a redução de perdas e aumento do potencial produtivo dos ativos da organização; 4) Educação e Treinamento –, que busca o aumento contínuo do nível de capacitação; 5) Controle Inicial –, que reduz o tempo de introdução do novos produtos, equipamentos e processos. Esses cinco primeiros contribuem de forma decisiva para o alcance zero de falha. Também os pilares: 6) Manutenção de Qualidade –, que busca zero rejeito, zero, retrabalho e zero defeito; 7) Áreas Administrativas –, que engloba a redução de perdas e maximização nas áreas administrativas; e, 8) Segurança, Higiene e Meio Ambiente –, que envolve zero acidente e zero contaminação ambiental. Esses três últimos complementam os pilares que sustentam a ferramenta. Portanto, a ferramenta MPT tem o objetivo melhorar a eficácia da organização através de seus funcionários, qualificando-os e fazendo com que participem mais afetivamente dos processos, atuando para a conservação dos equipamentos e sugerindo melhorias tanto nas máquinas quanto nas formas de produção (JUSTA, 2016).

2.4.4 Housekeeping – 5S

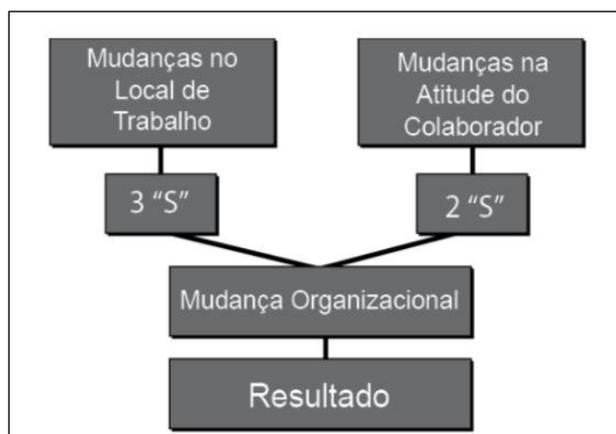
O 5S foi criado por Kaoru Ishikawa em 1950, no Japão, e foi aplicado com a finalidade de reorganizar o país quando vivia a chamada crise da competitividade após a

Segunda Guerra Mundial (PALADINI, 2000). Ainda hoje o 5S é considerado o principal instrumento de gestão da qualidade e produtividade devido a sua eficiência. Esse instrumento é considerado como um sistema que engloba a organização, a mobilização e transformação de organizações e pessoas. O nome 5S provém de cinco palavras do japonês, nas quais são: 1) Seiri (Senso de Utilização) –, que está ligado ao descarte de materiais inutilizados; 2) Seiton (Senso de Organização) –, que envolve a padronização dos objetos, conforme natureza comum e etiquetagem de cada um deles; 3) Seisou (Senso de Limpeza) –, que propôs manter apenas o essencial no ambiente de trabalho, evitando objetos desnecessários. Esses três primeiros “S” atuam como ferramenta de mudança no ambiente de trabalho. Já os dois últimos “S” atuam como ferramenta de mudança de atitude, a saber: 4) Seiketsu (Senso de Saúde) –, que inclui as condições sanitárias no ambiente de trabalho, incluindo limpeza e controle de poluição de natureza sonora, visual e atmosférica, bem como a saúde ocupacional do funcionário; e, 5) *Shitsuke* (Senso de Autodisciplina) –, que consistem na manutenção da ordem geral e das demais condições adquiridas pelos demais procedimentos (LAPA, 2000).

(PALADINI, 2000) reforça que esse instrumento visa estabelecer e manter a qualidade do ambiente de trabalho, assegurando o atendimento aos padrões e promovendo a essência da melhoria contínua.

(JUSTA, 2016) afirma que o resultado na utilização do 5S será um ambiente descontraído, limpo, organizado, climatizado, com pessoas positivas e incentivadoras, imprescindível para o aumento da produtividade de qualquer tipo de processo. Além disso, pode ser utilizado como uma ferramenta sustentável, incorporada na rotina das pessoas, contribuindo para a conquista da qualidade total. A Figura 2.3 apresenta como os 5S podem influenciar no processo de mudança organizacional, bem como nos resultados esperados.

Figura 2.3 - Influência dos 5S na mudança organizacional.



Fonte: Justa, (2016).

2.4.5 Melhoria Contínua – Kaizen

O termo japonês para a melhoria contínua é o Kaizen, que tem por uso os problemas do trabalho, documentando e otimizando os processos, além de coletar e analisar dados. Através do Kaizen é que se autorizam as pessoas para agir na correção de problemas, ensinando, inclusive, a fazer corretamente (OHNO, 1997). O Kaizen possibilita que as pessoas encontrem a causa do problema, em vez dos culpados. Isso traz soluções efetivas e maior entendimento no ambiente de trabalho, além disso, é uma ferramenta que abate a cultura de “varrer a sujeira para debaixo do tapete”, fazendo com que todos da organização combatam os erros e desperdícios, em todos os aspectos em todos os locais da organização.

Para (OHNO, 1997), o que se indica ao estabelecer o Kaizen é que os colaboradores apreciam fazer corretamente o trabalho, porém acabam se decepcionando quando o mesmo não apresenta resultados satisfatórios. Isso implica em qualquer ferramenta de gerenciamento participativo. O Kaizen revela como as pessoas prezam e buscam pela satisfação do trabalho bem-feito, sendo mais fácil impulsioná-las para contribuir para a melhoria contínua, através da identificação das causas e da criação de dispositivos que visem tornar erros e falhas menos recorrentes (JUSTA,2016).

Para melhor compreensão sobre o processo de melhoria contínua, (NONAKA e TAKEUCHI, 1997) citam o exemplo da Matsushita, uma fábrica japonesa que tinha a necessidade em criar uma máquina que pudesse fazer pão. Porém, a máquina precisava do conhecimento prático que só um padeiro poderia ter, uma vez que havia etapas que nem o próprio padeiro sabia descrever. Para solucionar o problema, os técnicos da Matsushita aprenderam na prática a fabricação do pão, sendo exposto a outros membros da equipe de desenvolvimento. E, assim, por meio de um manual a equipe padronizou o conhecimento adquirido fazendo uma combinação com a máquina. Isso fez com que a equipe enriquecesse seus conhecimentos tácitos, tornando possíveis novos conhecimentos (internalização).

2.4.6 Kanban

O sistema kanban é um sistema de reposição de materiais baseado em uma “produção puxada” do cliente, em vez de uma “produção empurrada” do produtor. Kanban literalmente significa “placa sinalizadora”, são os cartões que são usados para sinalizar novas encomendas de peças. Essa ferramenta surgiu no Japão após a II Guerra Mundial por Taiichi Ohno nos anos de 1958. O objetivo foi a eliminação de produção em excesso para uma produção mais

enxuta, ou seja, produzir a quantidade de produto que o cliente pretende na data correta, assim evitando desperdícios.

(CRISTOVÃO, 2014, p. 14) afirma que essa metodologia “[...] determina os excessos de estoque e informa quando as existências são reduzidas. Controla a produção, obrigando-a parar quando é atingida a totalidade da quantidade do pedido”.

(CRISTOVÃO, 2014, p.14), ainda completa que, kanban “[...] é um sistema em que se determinam pequenos lotes para todos os materiais da produção, do armazém, ou até do cliente e cada lote é identificado com um cartão”. Para a implementação dessa ferramenta é importante conhecer cada processo, além de um layout de produção adequado.

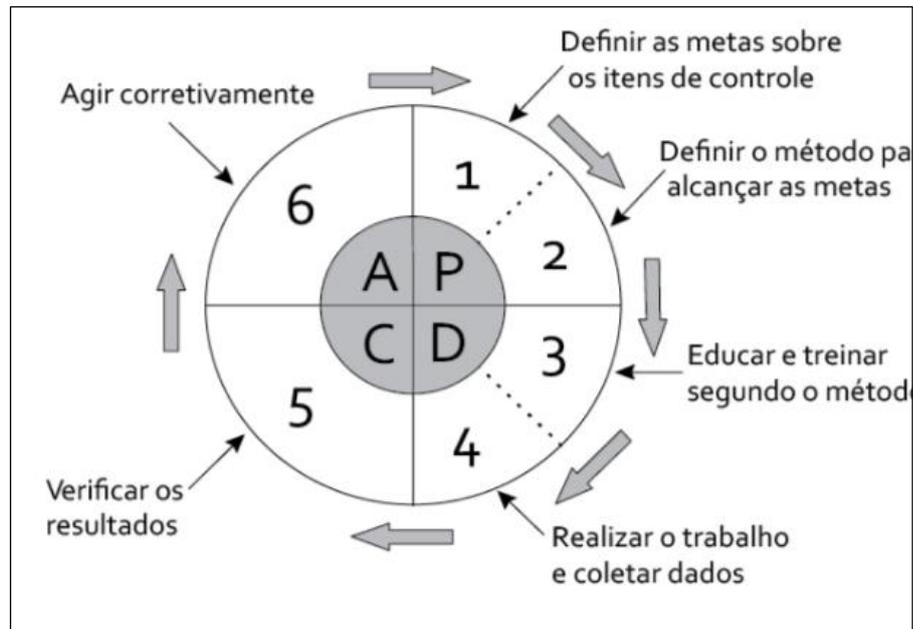
As vantagens dessa metodologia estão na diminuição dos prazos de entrega, descentralização do controle das operações, diminuição dos estoques e disponibilidade do espaço, bem como redução de custos. Existem vários tipos de kanban, a saber: por cartões, indicação luminosa, informação eletrônica e marcações no pavimento (CRISTOVÃO, 2014).

2.4.7 PDCA e SDCA

O PDCA é baseado no controle de processo, sendo desenvolvido nos anos 30 pelo americano Shewhart. Porém, foi polarizado somente ao ser aplicado por Deming, seu maior divulgador, conhecido ao aplicar nos conceitos de qualidade no Japão. Esse método concede selecionar a melhor opção para se atingir um objetivo frente às situações incomuns ou imprevistas. Em vista disso, a meditação e análises dos processos são pertinentes para a melhoria, incluindo inclusive o planejamento, a padronização e a documentação destes.

(IMAI, 1996) afirma que o ciclo de melhoria PDCA é um dos mais importantes conceitos do Kaizen, composto de quatro fases básicas, a saber: P = Plan, planejar, que implica na definição das metas e métodos; D = Do, educar e treinar segundo o método, que propõe executar as tarefas e coletar dados; C = Check, verificar os resultados das tarefas executadas e A = Action, agir, atuar corretivamente, aperfeiçoando as tarefas em forma de procedimentos para garantir a melhoria e a manutenção dos resultados alcançados. A Figura 2.4 abaixo mostra as fases do ciclo PDCA.

Figura 2.4 - As Fases do Ciclo PDCA.



Fonte: Imai, (1996).

A padronização das melhorias alcançadas é imprescindível para o Kaizen. Essa padronização dá através da consolidação do novo nível atingido após o giro do ciclo PDCA, que ocorre pela estabilização do processo, ou seja, através do ciclo de padronização ou ciclo S (standardize) DCA (SDCA) pela padronização das melhorias alcançadas, cumprindo os padrões estabelecidos para o produto e o processo. As melhorias somente poderão trabalhadas quando os processos estiverem em estabilidade, iniciando assim um novo ciclo PDCA. (IMAI, 1996) afirma que a padronização contém diretrizes claras, saber: deve ser documentada e comunicada para conhecimento de todas as que a seguem. Padronizar é fazer, comunicar, seguir e melhorar, servindo para garantir a segurança, qualidade, produtividade, repetibilidade e a estabilização do processo, alcançando-se assim uma base para a evolução (JUSTA, 2016). É por meio dessas pequenas melhorias que se desenvolve um ciclo virtuoso que combina os eventos de kaizen e os ciclos de PDCA e SDCA, promovendo pequenas mudanças contínuas e sólidas que transformam a cultura organizacional em um efetivo modelo de mudança com pessoas autônomas, que aprendem e com foco em resultados.

2.5 AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL E AS PERSPECTIVAS DA INDÚSTRIA 4.0

A automação e os robôs estão presentes no ambiente industrial há muitos anos. A elevada procura de produtos industrializados cresce a cada ano, junto cresce a necessidade de

investir em processos otimizados a fim de aumentar a produtividade a um custo mais baixo. O avanço de novas tecnologias (automação, robótica, inteligência artificial, grandes dados, Internet das coisas, computação em nuvem) gerou um interesse acadêmico pelo impacto da automação na indústria e no seu efeito na produtividade e na geração de novos empregos (CAMINA, 2016).

Novos estudos mostram que, em longo prazo, não estamos a caminhar para uma substituição de empregos, mas para uma evolução no mercado de trabalho com a criação de novas profissões, uma vez que a integração entre automação e emprego não só gera uma redistribuição de tarefas e deslocação de ocupações, mas também um aumento da mão-de-obra humana (especialmente trabalhadores qualificados ou novas especializações dentro das profissões), a criação de novas profissões é necessária para satisfazer a procura de profissionais qualificados (FREY, 2017).

Na última década, as inovações da Indústria 4.0 têm atraído um interesse considerável por parte dos pesquisadores em muitos campos de estudo, desde a engenharia até à gestão Industrial (PICCAROZZI, 2022). As vantagens da Indústria 4.0 incluem maior competitividade e desempenho, maior versatilidade, resiliência, e maior rentabilidade. A tecnologia Smart Factory engloba tecnologia que melhora a robótica, a conectividade máquina-a-máquina, o fabrico sem prescrição e a tomada de decisões.

As tecnologias da Indústria 4.0 permitem ao fabricante obter produtos melhores e mais eficientes. Em outros termos, isto pode gerar mais e mais rapidamente, tornando o capital mais rentável e fiável (J.M. Müller, 2018).

A visão da Indústria 4.0 irá interligar os dispositivos de primeira camada e criar uma ligação para além das paredes da fábrica, podendo ser gerenciada e acessada de qualquer lugar do mundo. Grandes volumes de dados provenientes de sensores e equipamento têm uma enorme importância nesse processo. O investimento no desenvolvimento de capacidades é a ação mais significativa, (J. VRCHOTA, 2020). A indústria 4.0 é a quarta revolução industrial em que as tecnologias e a automação se afirmam como grandes mudanças.

2.5.1 Processos Industriais

A Manufatura industrial é o principal pilar do desenvolvimento nacional, refletindo o nível de desenvolvimento em pesquisa e tecnologia de um país (JENNY L, 2019). Após a Segunda Guerra Mundial, a principal questão para as indústrias era como competir globalmente em termos de qualidade e custo dos produtos (LEVY B, 2017).

Problemas de fluxo de produção, diminuição da produtividade e problemas de qualidade não são novos; têm a sua origem na revolução industrial a explosão da produção em massa, onde os estrangulamentos, as longas paradas de linha, os desequilíbrios de linha, a falta de padronização, eram pontos que precisavam evoluir para atender a demanda do mercado global (JIMENEZ, 2019).

Logo as indústrias tiveram de implantar técnicas automatizadas nos seus processos de fabril, bem como melhorias no controle e planejamento (Martin T, 1990). A automação industrial tornou-se a principal área de atenção para profissionais, gestores e pesquisadores devido à sua contribuição significativa para o desempenho empresarial, custo, satisfação do cliente e rentabilidade (M Rachwal T).

2.6 Expectativas para o Setor de Ar Condicionado

Os dias de Verão são bastante difíceis de viver numa casa sem ventilação, por isso a maioria das pessoas opta por ar condicionado em casa (PRABHA, 2021). À medida que a temperatura global aumenta e os a procura por ar condicionado cresce juntamente, as vendas de aparelhos de ar condicionado deverão aumentar continuamente (DAVIS, 2021).

As vendas de aparelhos de ar condicionado residenciais triplicaram desde 1990 para quase 100 milhões de unidades por ano. Isto significa que a cada hora, mais de 10.000 novos aparelhos de ar condicionado de algum lugar são vendidos em qualquer outro lugar do planeta (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2018). Estudos recentes mostram os impactos econômicos e ambientais do aumento da utilização de ar condicionado. Os benefícios da utilização de ar condicionado estão relacionados com o bem-estar, tais como a diminuição da transpiração e da fadiga relacionada com o calor, o aumento da produtividade e a melhoria dos resultados de eficiência energética dos novos aparelhos de ar condicionados contribuem para o aumento das vendas no setor. Mas a maioria dos modelos de ar condicionados ainda consome muita eletricidade, gerando oportunidades de melhorias, pesquisa e desenvolvimento no setor, investimentos significativos em infraestruturas de produção, transmissão de eletricidade e desenvolvimento de novos modelos ecologicamente benéficos para o meio ambiente são tendências para redução carbono e outros gases poluentes gerado durante o processo de fabricação (WENZ, 2017).

Já existem soluções para minimizar os impactos ambientais, modelos INVERTER, são versões que reduzem o consumo de energia e utilizam gás não poluente, espera-se um avanço no desenvolvimento de soluções energéticas nos próximos anos.

Estima-se que até 2050, o consumo de ar condicionado em países em desenvolvimento como a Índia, Argentina, Paraguai, Uruguai atingirá até 50% e em países como Itália e China este índice atingirá 75% da população com ar condicionado em casa (DAVIS, 2018). As melhorias na eficiência energética de ar condicionado estimulam as vendas no setor, instigando projetos de pesquisa em soluções ecológicas, energéticas e em melhorias no processo de fabricação buscando produtos mais eficientes.

CAPÍTULO 3

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 SINTESE DO CAPÍTULO

Neste Capítulo será abordados os materiais e métodos que foram empregados para obter os resultados do estudo de caso ‘Estudo para aumento de capacidade em uma Linha de Produção’. Foi utilizando dados qualitativos coletados de eventos reais da linha de produção de ar condicionado, entrevistas com colaboradores, reuniões com os gestores (Lides, Supervisores), entre diversas reuniões. A metodologia foi dividida em quatro etapas;

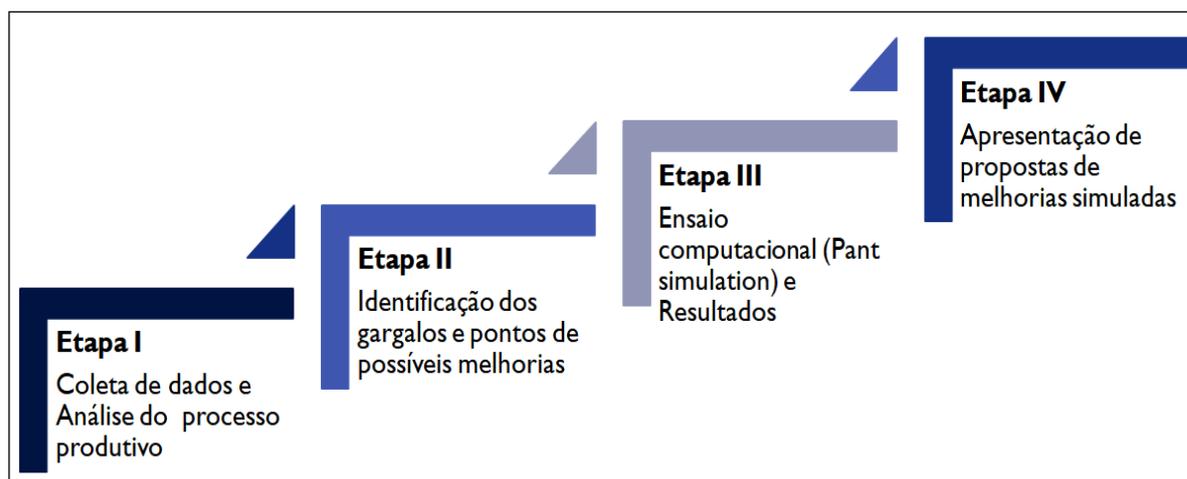
Na etapa I consiste na apresentação da linha para análise e coletar os dados através de vídeos, cronoanálise, estudo de tempo, entrevista com colaborador.

Na etapa II é a compilação de dados e identificação de gargalos e identificar pontos de melhorias solicitados pelos funcionários e durante análise diretamente na linha.

Na etapa III consiste na organização das informações das etapas I e II, para simulação do novo Layout com o software PLANT SIMULATION, a simulação computacional compilou as melhorias e sugestões requeridas.

A etapa IV consiste no processo de escolhas de equipamentos para melhorias já simuladas. Na Figura 3.1 apresenta as etapas que foram aplicadas na metodologia da pesquisa.

Figura 3.1 - Etapas da Metodologia Aplicada.



Fonte: Autor, (2021).

3.1 ETAPA I - APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

Para a viabilidade da pesquisa, no que concerne aos registros e observações, exigiu-se a confidencialidade do nome da empresa nesta dissertação.

A empresa foi fundada na Coréia do Sul em 1938 por Byung Chull Lee, tendo como principal atividade, inicialmente, a exportação de alimentos para a China. Porém, em poucos anos, a empresa ampliou seus negócios, passando a atuar com produção de açúcar e seguros, mas foi somente em 1969 que a empresa começou a atuar com produtos eletrônicos – pela qual hoje é mundialmente famosa. A companhia chegou a Manaus em 1994 com duas linhas de produto: videocassetes e televisores, gerando 318 empregos diretos.

Em 2010, inaugurava uma nova unidade, moderna e inovadora. Nisto, se torna um dos maiores complexos produtivos de Manaus, empregando cerca de 6.000 funcionários diretos e indiretos, sendo a segunda maior fábrica do Polo Industrial de Manaus – PIM. Hoje a fábrica produz smartphones, smartwatch, tablets, notebooks, televisores, sound systems e condicionadores de ar, entre outros produtos tecnológicos. A empresa deseja ampliar seu complexo produtivo, trazendo novos produtos para sua marca. O cuidado com as pessoas, a excelência, integridade e prosperidade mútua são os valores que definem a organização. Sua visão é “inspirar o mundo” e “criar o futuro”, contribuindo para a melhoria da sociedade, além de prezar pelo respeito aos valores para manter os negócios sólidos.

3.1.2 Síntese do Processo de Fabricação do Condicionador de Ar

De forma simplificada, o processo de fabricação do condicionador de ar é dividido em duas partes: subprocessos (Heat Exchange, PBA, Acessórios) e linhas de montagem (Evaporadora e Condensadora). Os subprocessos (Heat Exchange, PBA, Acessórios) é o local onde são fabricados e pré-montados os componentes que compõe o condicionador de ar, como por exemplo: o gabinete, compressor, caixas, placas eletrônicas, tubulações de cobre, evaporador e condensador, controle remoto, manual do usuário etc. No Heat Exchange é onde se fabrica todas as tubulações de cobre utilizadas nas montagens do condicionador de ar, bem como o condensador e evaporador. PBA (Printed Board Assembly) é o setor de fornecimento de placas eletrônicas de controle e funcionamento do condicionador de ar.

No setor de acessórios é feita a produção de kits (manual de usuário, manual de instalação e garantias, controle remoto e pilhas). Os demais materiais que compõe o condicionador de ar são importados, tais como: compressor, mantas de isolamento, parafusos, etiquetas, motor, ventoinha, bases de alumínio etc. As linhas de produção são utilizadas para a montagem dos materiais e componentes produzidos nos setores de subprocessos (Heat Exchange, PBA, Acessórios). Para isso, são necessárias duas linhas – uma para montar a unidade condensadora e outra para montar a unidade evaporadora. As Figuras 3.2 e 3.3 apresentam os componentes que compõe o ar condicionado:

Figura 3.2 - Unidade Condensadora.



Fonte: Internet, Digital Inverter, 2021.

Figura 3.3 - Unidade Evaporadora.



Fonte: internet, Digital Inverter, 2021.

A produção é feita de forma simultânea e na mesma quantidade, ou seja, a mesma quantidade produzida na linha de montagem da unidade condensadora será a mesma quantidade produzida na linha de montagem da unidade evaporadora.

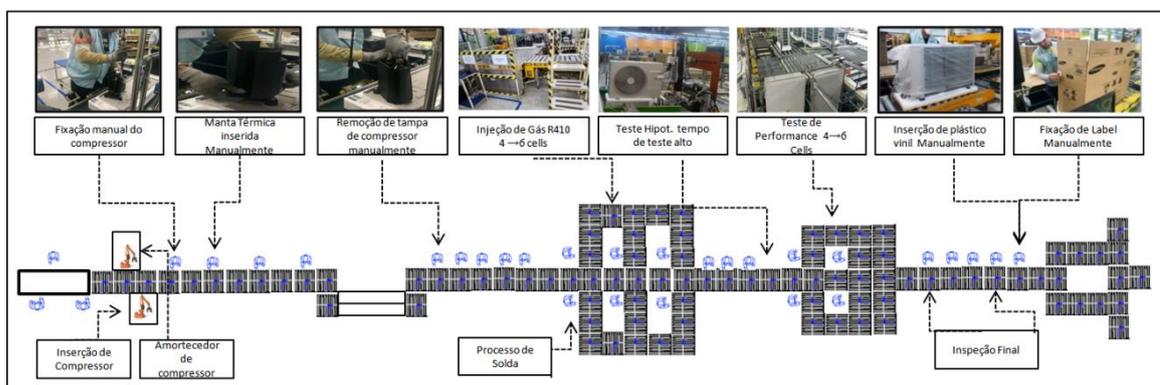
3.1.3 Descrição Estrutural e Produtiva da Linha – Unidade Condensadora

Estruturalmente, a linha de produção da unidade condensadora possui 74,6 metros. Os maquinários ficam ligados às esteiras, posicionados lado a lado em larga escala e com baixa variedade de produtos. A linha é dedicada para a montagem da unidade condensadora de condicionadores de ar e conta atualmente com 31 operadores habilitados que desempenham os trabalhos em pontos fixos. A capacidade máxima de produção da planta gira em torno de 1490 unidades por dia. Abaixo os cálculos da capacidade produtiva da linha conforme números fornecidos pela empresa.

3.1.4 Layout antigo

A linha de produção onde se desenvolveu o projeto se denomina linha de montagem da unidade condensadora – local em que é feita a montagem dos componentes produzidos nos setores de subprocessos. Foi realizado um levantamento de dados da planta que permitiu conhecer as estruturas operacionais do processo. A Figura 3.4 mostra o layout com aos principais processos antes da mudança prevista.

Figura 3.4 - Planta da linha atual.



Fonte: Autor, (2021).

Estruturalmente, a linha de produção da unidade condensadora possui 74,6 metros. Os maquinários ficam ligados às esteiras, posicionados lado a lado em larga escala e com baixa variedade de produtos. A linha é exclusiva para a montagem da unidade condensadora de condicionadores de ar e conta atualmente com 31 operadores habilitados que desempenham

os trabalhos em pontos fixos. A capacidade máxima de produção da planta gira em torno de 1490 unidades por dia.

O processo produtivo da linha está estruturado em vinte operações, sendo essas operações compostas em oito principais estações de trabalho. Sendo elas: 1) Comp Fixed (fixador manual de compressor); 2) Felt Comp (inserção manual de manta térmica); 3) Comp Cap (retirada manual da tampa de proteção do compressor); 4) Hipot (Automático); 5) Control Box (controle de carga de gás R410); 6) Test Performace (teste manual de desempenho); 7) Auto Insert Bag (inserção de bolsa ou plástico de proteção); e, 8) Label (etiquetagem). Cada processo, com exceção o Hipot (High Potencial) é feito manualmente pelo operador. A linha tem um *takt time* ou tempo de produção de 20.4 segundos.

3.1.5 Coleta de dados e Análise do Processo Produtivo

A Tabela 3.1 mostra a media de produção mensal durante o ano de 2019, de acordo com a tabela abaixo a produção máxima no ano de 2019 foi de 1490 unidades por dia, considerando produção em apenas 1 turno de 8 horas trabalhadas. Observou-se que janeiro a abril a produção apresentou uma leve redução na demanda, já nos meses de Novembro e Dezembro a produção chegou a sua capacidade máxima de 1490. A Tabela 3.1 apresenta o histórico de produção, takt time e tempo de produção, durante o ano 2019.

Tabela 3.1 - Histórico de produção 2019.

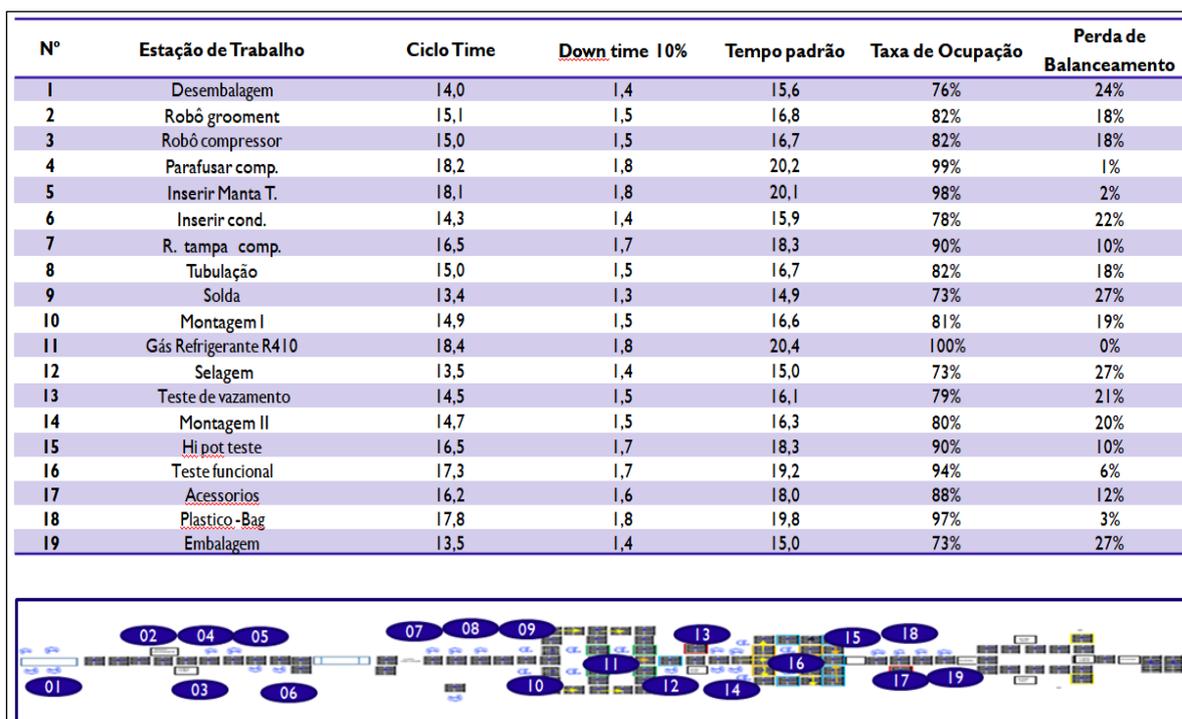
Mês	Media de produção	Takt time	Tempo de operação
Janeiro	1150 unidades	26,5 segundos	508 minutos
Fevereiro	1100 unidades	27,7 segundos	508 minutos
Março	1235 unidades	24,68 segundos	508 minutos
Abril	1250 unidades	24,38 segundos	508 minutos
Mai	1355 unidades	22,49 segundos	508 minutos
Junho	1350 unidades	22,57 segundos	508 minutos
Julho	1350 unidades	22,57 segundos	508 minutos

Mês	Media de produção	Takt time	Tempo de operação
Agosto	1450 unidades	21,02 segundos	508 minutos
Setembro	1450 unidades	21,02 segundos	508 minutos
Outubro	1450 unidades	21,02 segundos	508 minutos
Novembro	1490 unidades	20,45 segundos	508 minutos
Dezembro	1490 unidades	20,45 segundos	508 minutos

Fonte: Autor, (2021).

O Processo é dividido 19 estações de trabalho, onde foi feito o estudo de tempo para análise e identificação de pontos de gargalo, e posteriormente, propor melhorias para atender as metas estabelecidas. A Figura 3.5 apresenta a coleta de dados por estação de trabalho e seus respectivos resultados.

Figura 3.5 - Análise de balanceamento de processo.



Fonte: Autor, (2021).

3.2 ETAPA II – IDENTIFICAÇÃO DOS PONTOS DE GARGALOS E SELEÇÃO DOS POSTOS A SEREM MELHORADOS

3.2.1 Identificação do Problema

O layout atual da linha e seu processo produtivo possuem uma grande quantidade de operações manuais. Isso pode deixar a linha de produção suscetível a erros simples, gerando riscos para as operações de fabrico, como por exemplo, indefinição de tempo de produção e erros de etiquetagem. Dos oito principais processos catalogados, apenas um é feito um por equipamento automático, que é o HIPOT, porém é um equipamento que ao longo do tempo teve seu desempenho reduzido, causando problema de qualidade, além dos muitos problemas com o sistema de frenagem. O layout apresenta pontos ergométricamente problemáticos que limitam a flexibilidade entre o arranjo de diferentes objetos, instalações e equipamentos (sensores, esteiras, hipot). A Tabela 3.2 apresenta análise das estações de trabalho selecionadas para serem melhoradas:

Tabela 3.2 - Estação de trabalhos a serem melhoradas.

Estação de Trabalho	Ciclo Time	Down Time 10%	Tempo padrão	Taxa de Ocupação	Perda de Balanceamento
Parafusar comp.	18,2	1,8	20,2	99%	1%
Inserir Manta T.	18,1	1,8	20,1	98%	2%
R. tampa comp.	16,5	1,7	18,3	90%	10%
Fluxo de processo – Inj. Carga de Gás	18,4	1,8	20,4	100%	0%
Hipot	16,5	1,7	18,3	90%	10%
Teste Funcional	17,3	1,7	19,2	94%	6%
Plástico de proteção	17,8	1,8	19,8	97%	3%
Embalagem	13,5	1,4	15,0	73%	27%

Fonte: Autor, (2021).

Os critérios utilizados para escolha dos postos foram; Taxa de ocupação acima de 90% de ocupação, entrevista com os colaboradores do processo, solicitação da Diretoria e Gestão para aumentar a qualidade, pontos em que durante a coleta de dados ficaram acima de 16

segundos, uma vez que o *Takt time* a ser atingido é 16,9 segundos e for fim a taxa de desbalanceamento do processo. O resultado da análise do processo atual estar descrito na Figura 3.5.

3.2.2 Cálculo da Capacidade de Produção

Para cálculo da capacidade de produção utilizou-se os modelos matemáticos expressados pelas Eq.(3.1),(3.2),(3.3):

$$\text{Produção por operador/dia} = \frac{\text{Capacidade máxima de produção da linha/dia}}{\text{Força de trabalho}} \quad (3.1)$$

$$\text{Produção por máquina/dia} = 2,41 \times \text{Produção por operador} \quad (3.2)$$

$$\text{Produção total do novo layout} = \text{Produção Máq} + \text{Produção Op} \quad (3.3)$$

3.2.3 Estação de Trabalho Seleccionadas para Mudanças

As estações de trabalhos que serão apresentadas a seguir foram seleccionadas através de análise do processo e sugestões dos colaboradores. O processo de fixação do compressor é feito de forma manual, são necessárias três porcas tamanho m8 para fixação completa do compressor, a Figura 3.6 mostra o processo de fixação do compressor.

Figura 3.6 - Fixador manual de compressor.



Fonte: Autor, (2021).

A próxima estação de trabalho a ser modificada é a de inserir manta térmica, a manta é colocada manualmente pelo operador, o objetivo é prevenir incêndio, a manta é feita de

material não inflamável evitando a propagação de fogo em caso de incêndio. A Figura 3.7 mostra a estação de trabalho inserção de manta térmica abaixo:

Figura 3.7 - Inserção manual da manta térmica.



Fonte: Autor, (2021).

O processo seguinte é a de retirada da proteção do compressor, a remoção é feita de forma manual, é necessários uma força de 5 kgf. para remover as proteções, logo, esse posto de trabalho é responsável por diversos afastamentos de colaboradores por lesões nas mãos e ombros, devido o nível de esforço e movimentos repetitivos. A Figura 3.8 mostra a remoção da proteção do compressor sendo removida manualmente:

Figura 3.8 - Retirada da proteção do compressor.



Fonte: Autor, (2021).

O Teste de fuga de tensão – HIPOT permite a realização do ensaio de rigidez dielétrica ou tensão suportável, o teste é feito por um equipamento de teste automático. O equipamento automático é problemático, e com tempo de teste acima de 20 segundos em

alguns modelos, o índice problemas com equipamento é de 4%, o a meta da empresa é de 1,5% tornando o equipamento inviável para o novo layout. A Figura 3.9 mostra o equipamento de teste atual:

Figura 3.9 - HIPOT.



Fonte: Autor, (2021).

O processo de injeção de carga gás refrigerante no ar condicionado é feito de forma automática, porém a conexão e desconexão é feita de forma manual pelo operador, no atual layout é necessário 1 operador por célula, totalizando 4 operadores. Esses operadores ficam dentro das células realizando o trabalho de montagem e injeção de carga de gás nos condicionadores de ar. A Figura 3.10 mostra a célula onde o operador acessa através de uma escada como mostra a figura abaixo.

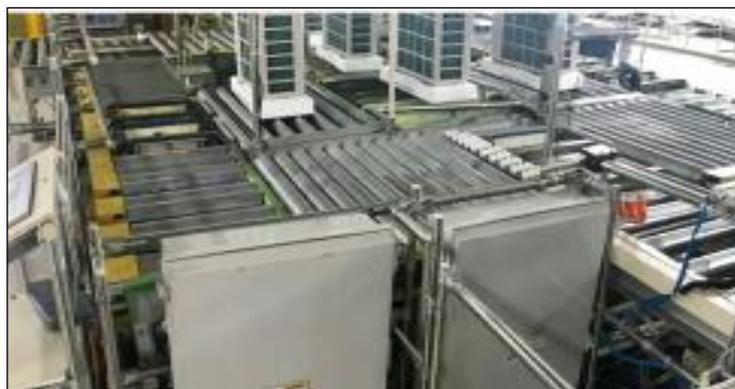
Figura 3.10 - Controle de Gás R410.



Fonte: Autor, (2021).

O posto de trabalho a seguir é o teste de desempenho do aparelho, o processo é também feito por quatro operadores que ficam dentro das células, cada operador é responsável por fazer a conexão e desconexão de mangueiras e que conectam com o aparelho de teste, o julgamento do teste é feito de forma automática, uma vez aprovado o operador desconecta as mangueiras e libera o aparelho através de um botão que aciona o movimento das esteiras. A Figura 3.11 mostra as células onde os operadores realizam os testes:

Figura 3.11 - Teste de desempenho e inserção manual de bolsa de proteção.



Fonte: Autor, (2021).

O processo de etiquetagem do aparelho é feita manualmente pelo operador, a etiqueta leva consigo informações do produto, onde se ocorrer algum eventual problema pós venda, é possível identificar através da etiqueta toda a rastreabilidade do processo por onde passou, com dia, hora e valor dos resultados dos testes, esse posto foi escolhido para automatizar devido a quantidade de operações que o oposto agrega. A Figura 3.12 mostra o operador inserindo a etiqueta na caixa de papelão.

Figura 3.12 - Etiquetagem manual do aparelho.

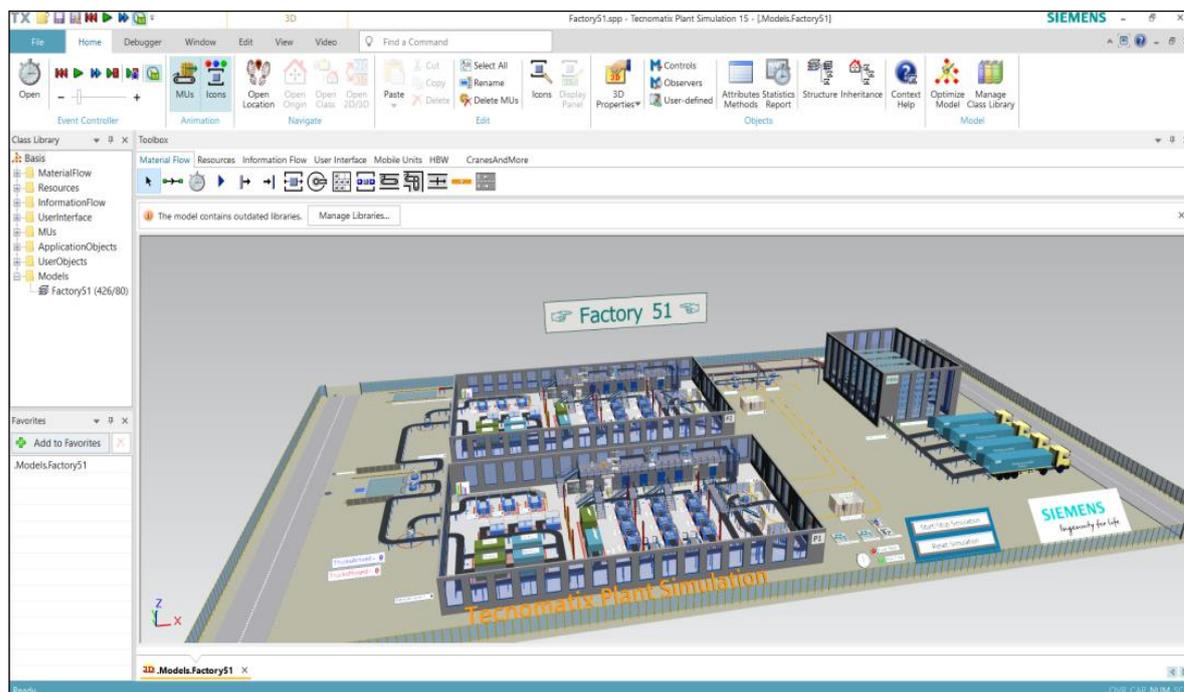


Fonte: Autor, (2021).

3.3 ETAPA III – MODELAGEM E SIMULAÇÃO DAS MELHORIAS

Após o levantamento dos problemas encontrados na linha, bem como a escolha dos equipamentos para as melhorias, iniciou-se a modelagem e simulação para validação do projeto. Dessa forma, utilizou-se a ferramenta computacional chamada de *Plant Simulation* – utilizada para modelar o novo layout com os tempos de cada estação de trabalho. Nisso, buscou-se possíveis pontos de gargalos com intuito de corrigi-los, além de planejar pontos de melhorias futuras. Nas modelagens e simulações realizadas através do *Plant Simulation* obteve-se o tempo de produção (*takt time*) e a eficiência total das estações de trabalho. A Figura 3.13 mostra uma visão geral do *software plant simulation* e suas ferramentas:

Figura 3.13 - Software plant simulation.



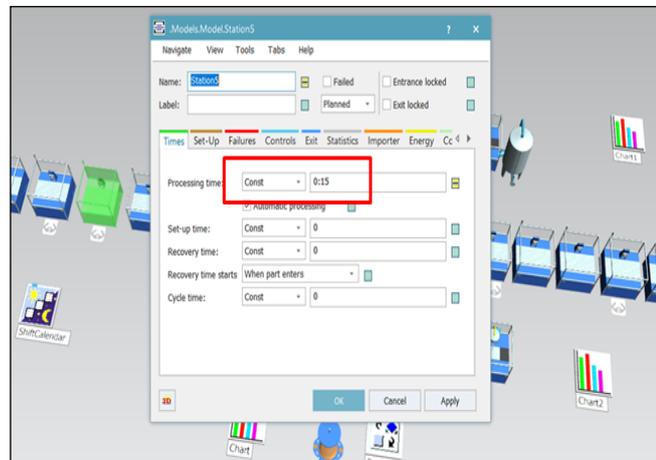
Fonte: Autor, (2021).

3.3.1 Tempo de Produção (Takt Time)

A simulação foi baseada no balanceamento de atividades do processo, com objetivo de alcançar um *takt time* de 16.9 segundos, redução de 3,5 segundos. Para alcançar esse tempo, houve a necessidade no aumento da quantidade de células de injeção de gás R410, teste de desempenho e automatização dos principais postos, além de criar postos adicionais e esteiras para dar fluidez ao processo, o método de simulação computacional feito através do *plant*

simulation da empresa SIEMENS, foi inserido os tempos de cada operação no software, assim é possível identificar pontos de gargalos e resolvê-los. A Figura 3.14 mostra o software *plant simulation* a tag onde é inserido o tempo padrão da operação de cada posto de trabalho.

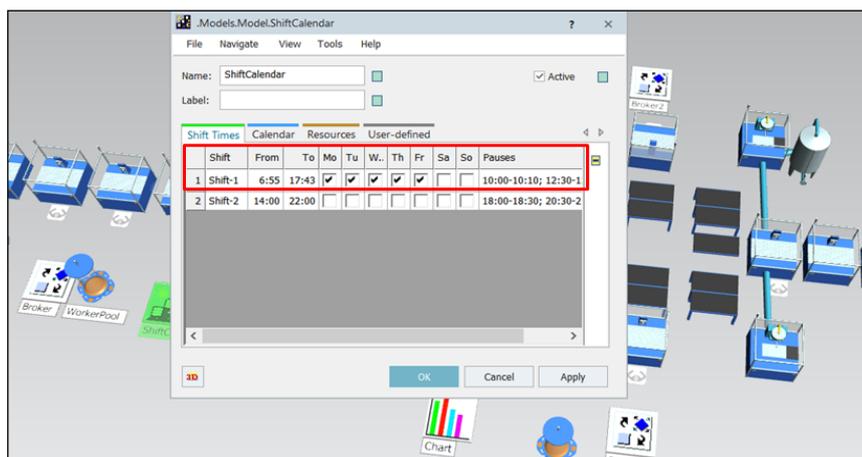
Figura 3.14 - Parâmetros de processo.



Fonte: Autor, *Plant Simulation*, 2021.

Os parâmetros utilizados para simulação foram: a quantidade de dias trabalhados na semana, segunda-feira, Terça-feira, Quarta-feira, Quinta-feira, Sexta-feira, além de 2 intervalos durante o dia, de 10 minutos cada, o primeiro pela turno matutino, iniciando as 10:00 e finalizando as 10:10, esse intervalo serve para que os colaboradores descansarem, tomar aguar, ir ao banheiro etc. O intervalo no período da tarde inicia as 14:00 ate as 14:10, o tempo de almoço é de 60 minutos, iniciando as 12:00 até as 13:00. A Figura 3.15 mostra a configuração desses parâmetros dentro da plataforma de simulação *plant simulation*:

Figura 3.15 - Parâmetros utilizados na simulação.



Fonte: Autor, *Plant Simulation*, 2021.

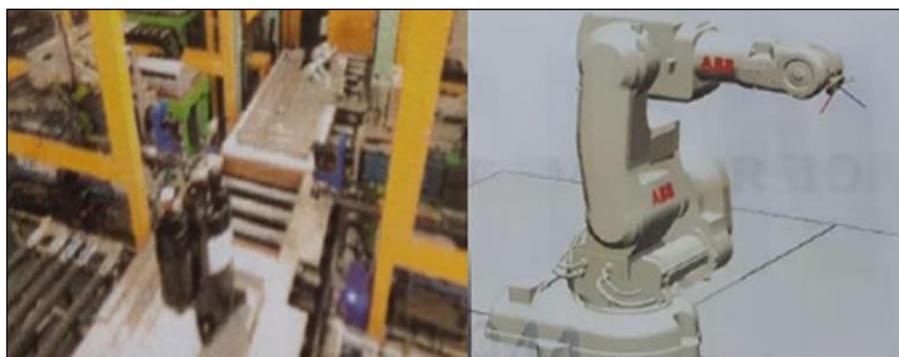
3.3.2 Eficiência dos Processos (Eficiência Total das Estações)

A eficiência total das estações foi obtida por meio da simulação do *Plant Simulation*, em que se calcularam os tempos de cada estação de trabalho utilizando dados referentes ao ciclo time, *down time*, tempo padrão, *gap*, ocupação e perda.

3.4 ESCOLHA DOS EQUIPAMENTOS PARA AS MELHORIAS

A proposta de melhoria engloba mudanças nos pontos de operações manuais para automatizada. Dessa forma, apresenta-se uma nova concepção de teste de segurança que substituiria os processos manuais por operações automatizadas e utilização de robôs, bem como outras mudanças estruturais. A Figura 3.16 apresenta os equipamentos automáticos que serão inseridos no novo layout.

Figura 3.16 - Equipamentos automatizados e robôs ABB.



Fonte: Autor, (2021).

O arranjo desses equipamentos propõe uma flexibilidade entre as instalações, os operadores e objetos. O robô que será inserido é de modelo IRB1600 de 10kg, seu fabricante é ABB. O robô IRB 1600 oferece excelente confiabilidade, mesmo nos ambientes mais difíceis e nos mais exigentes ciclos de trabalho 24 horas por dia, 7 dias por semana. Todo o manipulador é classificado como IP 54 e as partes sensíveis são classificadas como IP 67 como padrão, os tempos de ciclo do robô são mais curtos, permitindo aumentar o rendimento.

CAPÍTULO 4

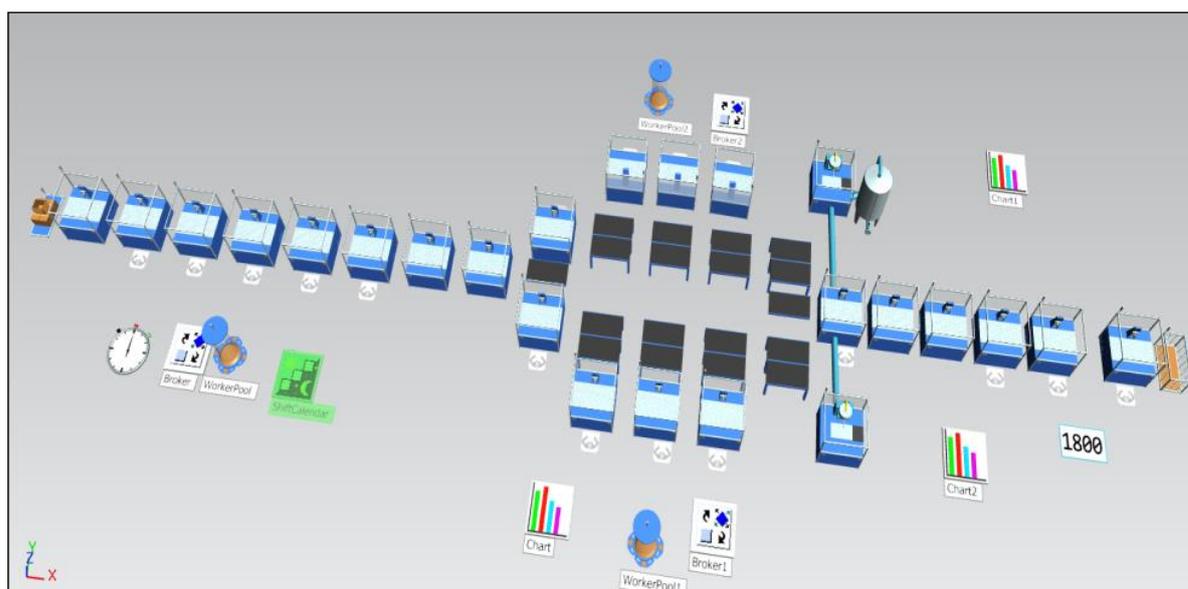
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste Capítulo são apresentadas as propostas de melhorias, os resultados relativos à modelagem e simulação das propostas, além das vantagens e desvantagens alcançadas na aplicação do novo.

4.1 PROPOSTAS DE MELHORIAS PARA O PROCESSO DE PRODUÇÃO DA LINHA DA UNIDADE CONDENSADORA – SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

A simulação computacional alcançou o resultado desejado, após a distribuição das atividades e balanceamento do processo, gerou-se a modelagem abaixo. A Figura 4.1 mostra a área de injeção de gás com saída 1800 dentro dos parâmetros apresentados no capítulo anterior:

Figura 4.1 - Modelagem da nova planta através do Plant Simulation.

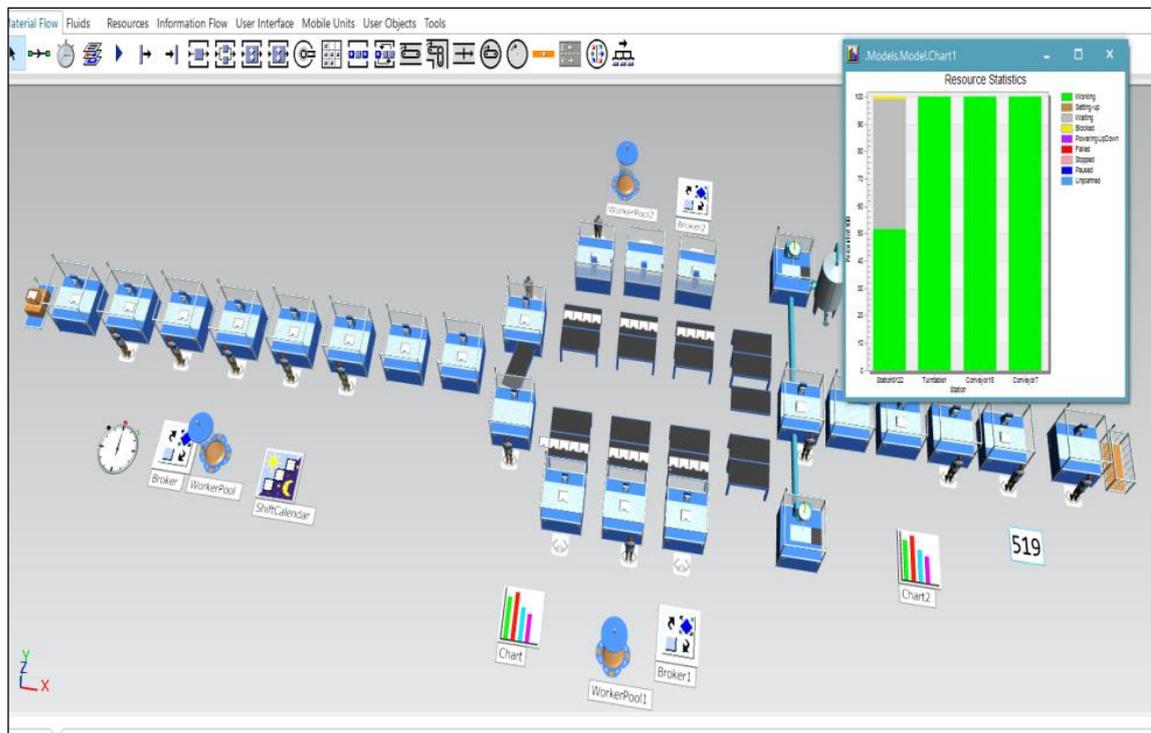


Fonte: Autor, *Plant Simulation*, (2021).

As propostas de melhorias englobam mudanças em alguns pontos de operações manuais para automatizada. Durante o processo de simulação foi simulado diversos design de layout, porém o resultado desejado não foi atingido, logo podemos confirmar a importância da

simulação computacional para evitar erros na implantação de novos layouts sem o uso de simuladores computacionais. Através da simulação é possível prever possível desbalanceamento no processo e corrigi-los. A Figura 4.2 mostra o resultado do balanceamento das quatro estações de trabalho:

Figura 4.2 - balanceamento através do Plant Simulation.



Fonte: Autor, *Plant Simulation*, (2021).

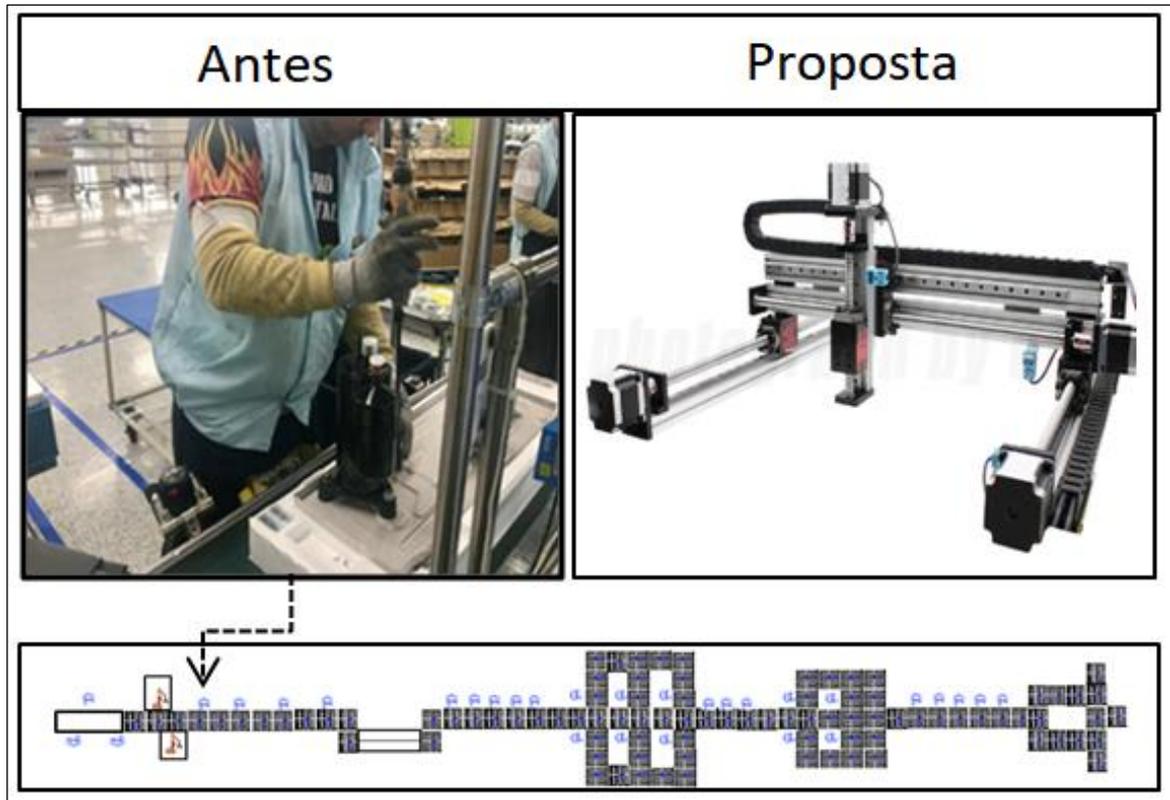
A estação de trabalho que está desbalanceada é o posto de teste de vazamento, após identificar esse problema, foi proposto dividir a quantidade de pontos a serem verificados, essa divisão será feita em dois postos de trabalhos subsequentes.

4.1.1 Fixador de Compressor

A fixação do compressor no chassi é feita manualmente pelo operador, utilizando uma parafusadeira pneumática vertical. O operador posiciona o compressor no chassi fixando-o com três parafusos com torque 150-300 kgf cm³. A proposta de melhoria para o procedimento descrito acima é otimizar o processo, ou seja, realizar a fixação de forma automática por meio de equipamento de teste automático. Logo, a fixação do compressor será feita por duas

parafusadeiras acopladas em cilindros que trabalham junto ao controle de toque de forma simultânea. A Figura 4.3 mostra a proposta da máquina que será instalada para fixação do compressor.

Figura 4.3 - Fixação manual e automática do compressor.

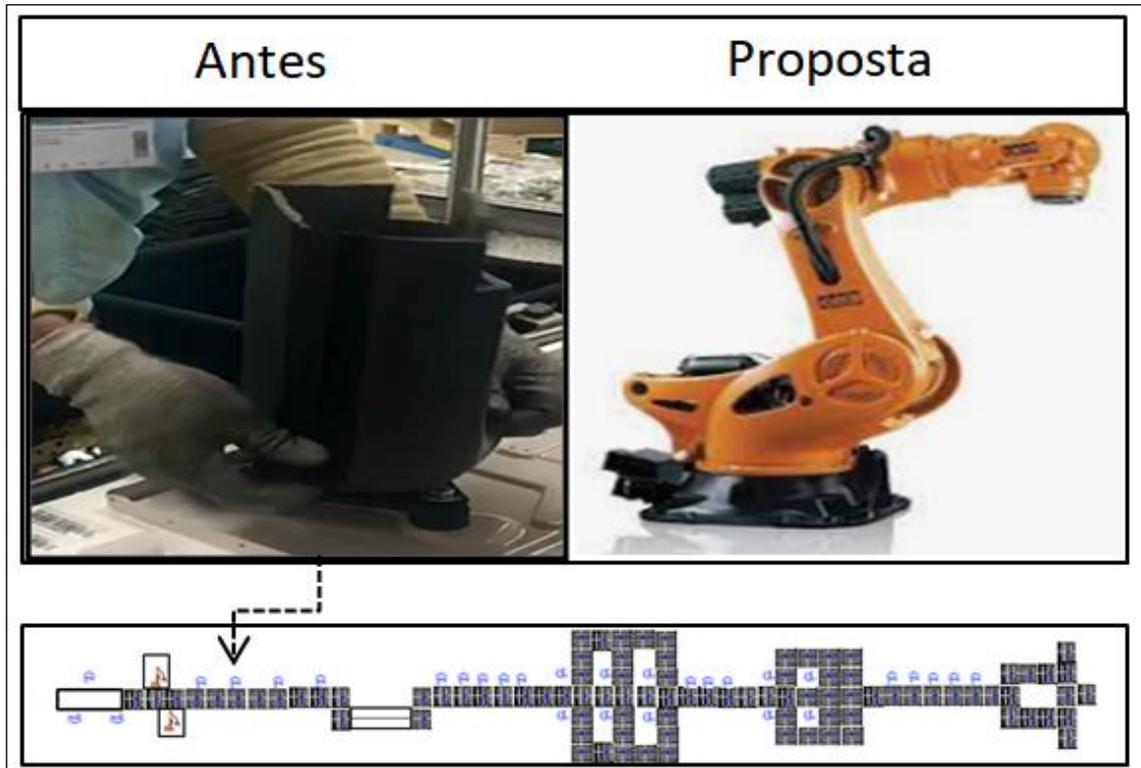


Fonte: Autor, (2021).

4.1.2 Inserção de Manta Térmica

O objetivo da manta térmica é dissipar o calor, logo tem a função antichama em um eventual superaquecimento. A proposta de melhoria é automatizar esse processo, a manta será inserida automaticamente por meio de um robô. Uma vez o processo automatizado, o tempo de inserção da manta será reduzido. A Figura 4.4 mostra a proposta de automação da estação de trabalho inserção de manta térmica.

Figura 4.4 - Inserção manual e proposta automática.

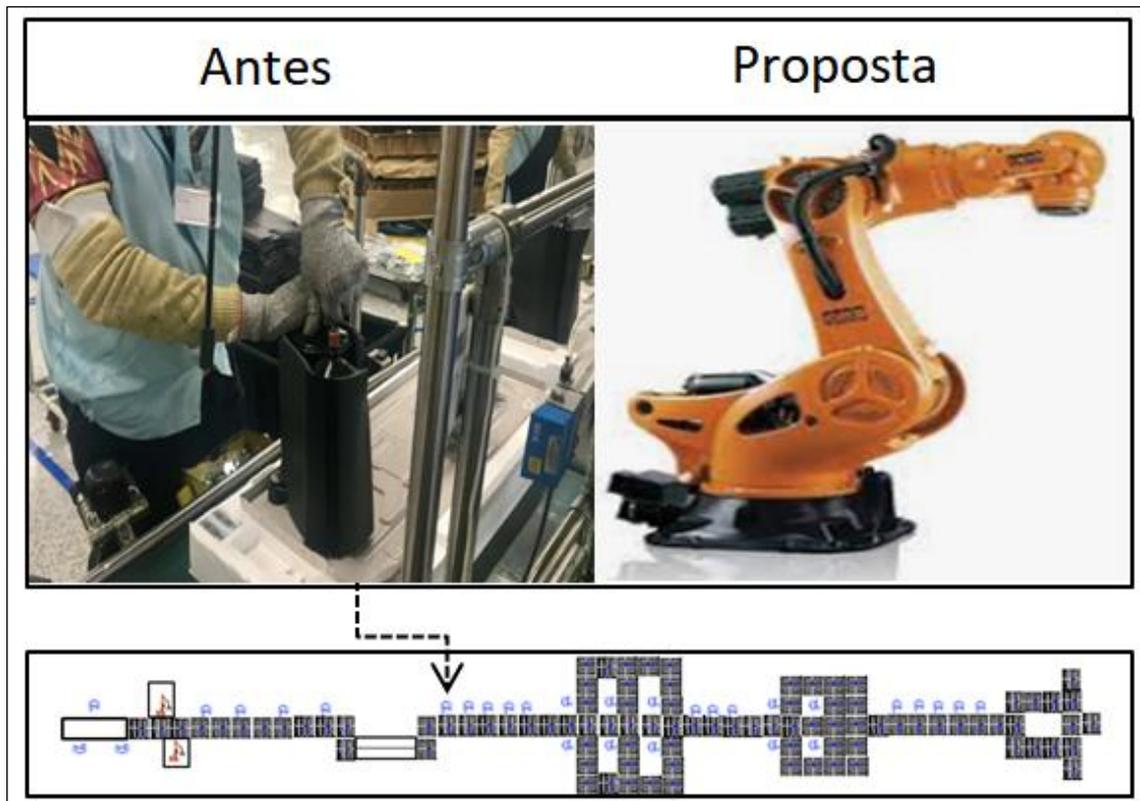


Fonte: Autor, (2021).

4.1.3 Retirada da Tampa de Proteção do Compressor

A retirada da proteção do compressor é feita manualmente pelo operador. Essa proteção evita que o compressor seja contaminado com impurezas antes de ser utilizado no processo final. Cada compressor contém duas tampas, que são pressurizadas a vácuo. Para esse local de trabalho é necessário constante monitoramento, pois é um posto com considerável incidência de afastamento devido aos movimentos repetitivos realizado pelo operador. Assim, a proposta de melhoria é automatizar esse processo. Propõe-se realizar a retirada da proteção do compressor por meio de um robô da marca ABB. Essa mudança trará agilidade ao processo, bem como a redução de custos e redução de afastamento por doenças ocupacionais oriundas de ações repetitivas. A Figura 4.5 apresenta a proposta de melhoria do posto remoção de proteção do compressor:

Figura 4.5 - Retirada manual e proposta de retirada automática da tampa de proteção.

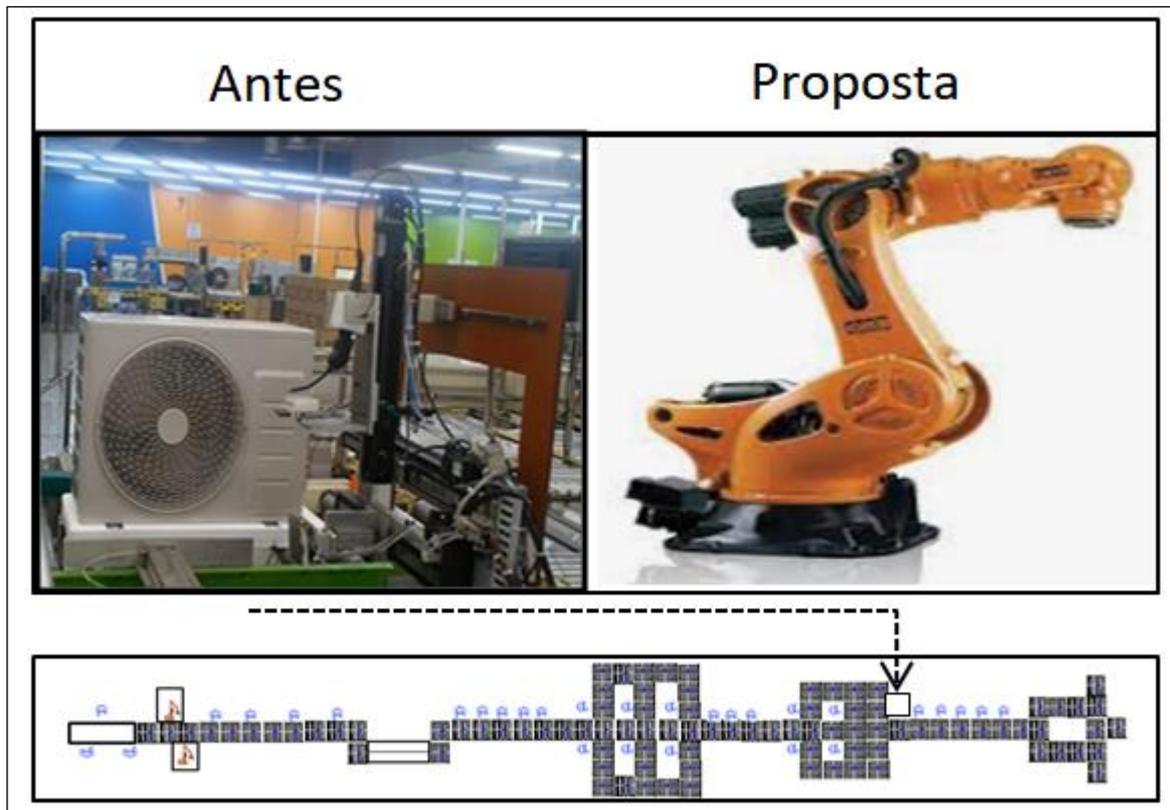


Fonte: Autor, (2021).

4.1.4 Hipot

O HIPOT – que permite a realização do ensaio de rigidez dielétrica ou tensão suportável é operado por um equipamento eletropneumático, porém o equipamento é antigo e ao longo do tempo teve seu desempenho reduzido, além de possuir alto índice de paradas para manutenção. Hoje seu tempo de ciclo de 19 segundos não atenderia um aumento da demanda de produção. Por isso, propõe-se mudar a operação do teste utilizando um robô. Essa mudança trará celeridade ao processo, pois aumentará a precisão dos movimentos, tornando o teste mais confiável e reduzindo a quantidade de falsos defeitos e problemas de frenagem. A Figura 4.6 apresenta a proposta de substituição de equipamento de teste de fuga de tensão:

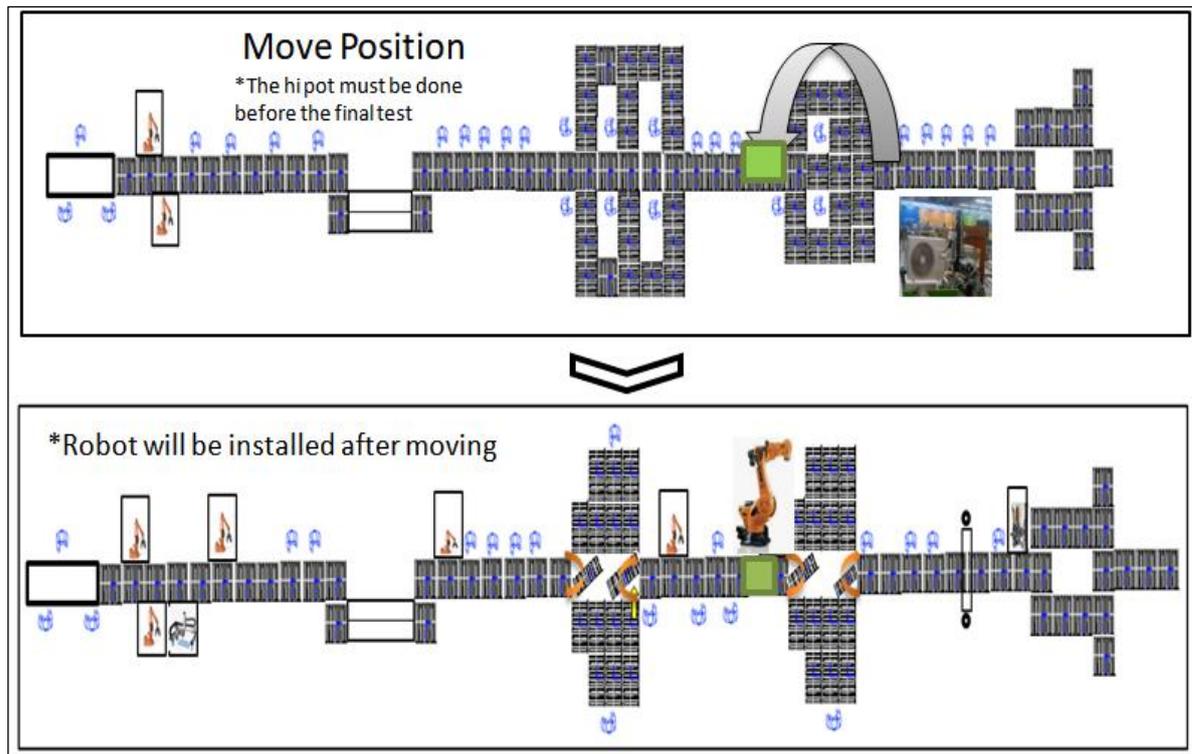
Figura 4.6 - Hipot operado por equipamento automático e por robô.



Fonte: Autor, (2021).

No layout antigo a posição do teste de *hipot* estar disposto após o teste funcional, e o ideal é ser feito antes do teste funcional para evitar danificar placas e componentes eletrônicos. Como já descrito, a função do teste *hipot* é medir fuga de tensão elétrica, uma vez reprovado no teste, o aparelho deve ser retirado do processo para análise do técnico responsável, caso o aparelho com fuga de tensão seja testado no teste funcional, poderá danificar o teste e mais componentes do aparelho com a fuga. A Figura 4.7 apresenta a proposta de mudança de posicionamento do teste de *hipot*:

Figura 4.7 - Reposicionamento do teste de voltagem.

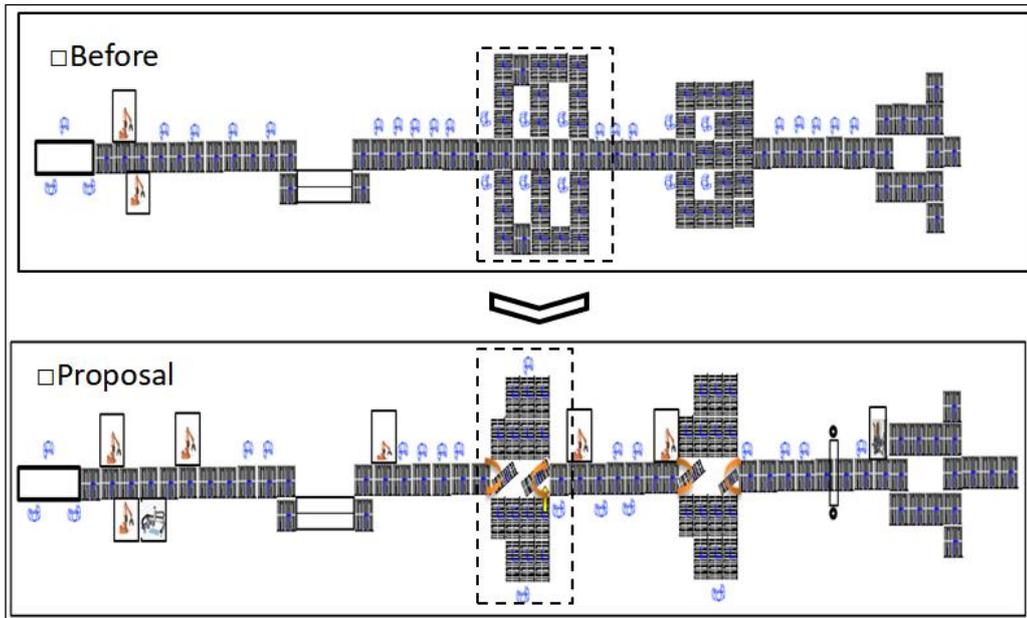


Fonte: Autor, (2021).

4.1.5 Controle de Gás R410

Atualmente o processo é feito com quatro operadores dentro das células que trabalham fazendo a injeção de gás refrigerante R410. Os operadores utilizam uma pistola pneumática onde controlam a vazão de gás. Para esse posto de trabalho propõe-se uma reformulação das células de injeção de gás refrigerante R410 para dar fluidez ao processo, bem como redução da quantidade de operadores e adição de mais uma esteira na área de montagem. Assim, o processo será feito com apenas dois operadores que ficarão fora das células (1 operador faz a montagem e outro faz o controle). A Figura 4.8 apresenta a proposta de layout da área de carga de gás R410:

Figura 4.8 - Carga de gás antes e proposta.

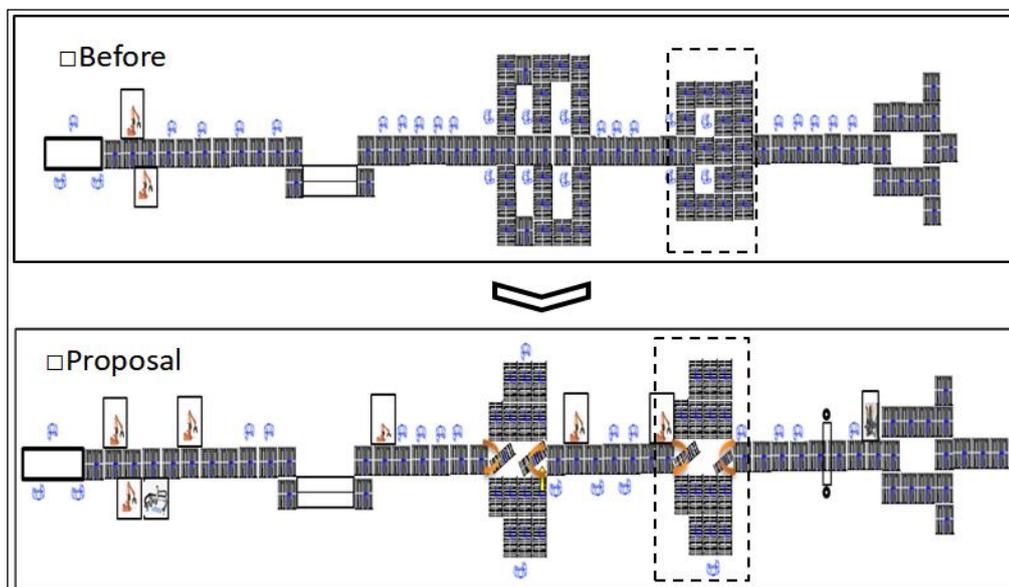


Fonte: Autor, (2021).

4.1.6 Teste de Desempenho

O setor de teste funcional ou de desempenho dos aparelhos é operado por 4 operadores que ficam dentro das células. A proposta é reformular as células do setor e reduzir a quantidade de operadores. A ideia é trazer mais fluidez ao processo com a diminuição dos gargalos. A Figura 4.9 apresenta a proposta de melhoria do layout do teste de funcional:

Figura 4.9 - Teste de desempenho operado com 4 e 2 operadores.



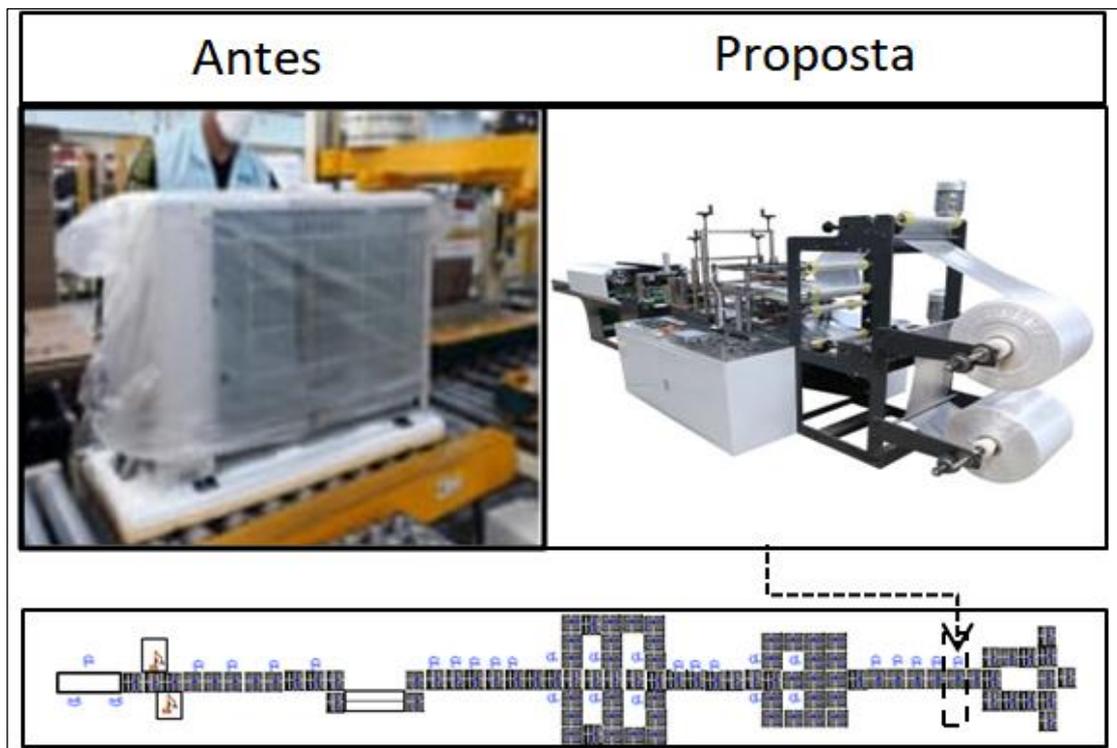
Fonte: Autor, (2021).

Assim como acontece na área entre o Hipot e esteiras que levam os condicionadores de ar até ao setor de teste de desempenho, reduzem-se o tamanho das esteiras de 1,5 m para 1,3 m. Assim, houve redução na área de 6 metros para 5,2 metros.

4.1.7 Inserção de Vinil de Proteção

A inserção da bolsa ou plástico de proteção é feita manualmente pelo operador. A proposta é substituir esse operador por um equipamento automático que trará mais rapidez ao processo, além da diminuição dos custos. A Figura 4.10 apresenta a proposta de melhoria da inserção do vinil de proteção:

Figura 4.10 - Inserção manual e automática da bolsa de proteção.



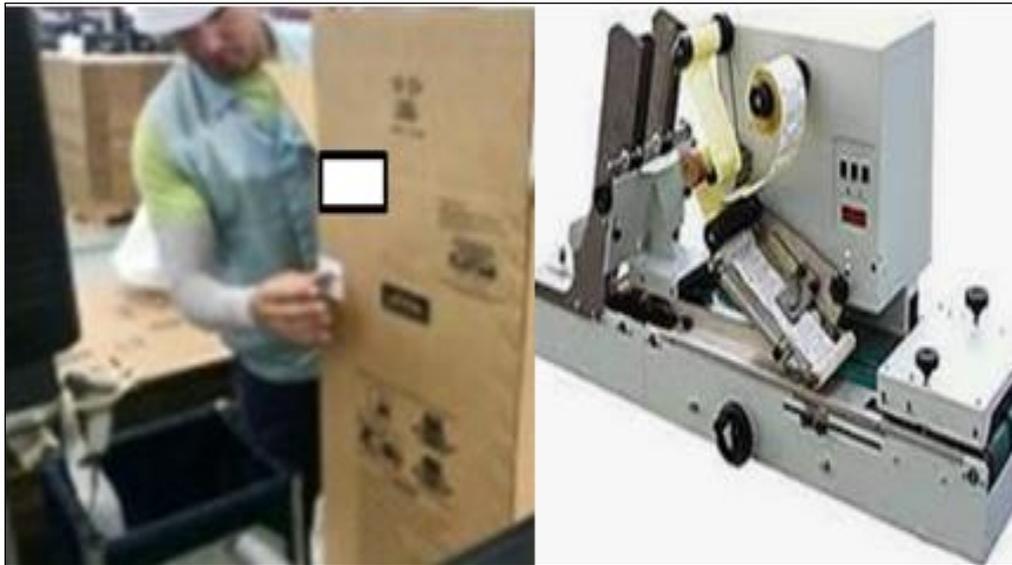
Fonte: Autor, (2021).

A área em que se localiza o equipamento automático de inserção da bolsa de proteção também sofreu uma diminuição no tamanho das esteiras, antes 1,5 m, tendo agora 1,3 m. Também se faz necessário a adição de mais duas esteiras para melhor fluidez dos processos, conforme da ilustração abaixo.

4.1.8 Etiquetagem

O operador faz a etiquetagem de forma manual. No entanto, para que haja diminuição em erros de etiquetagem, propõe-se substituir o operador por um equipamento automático. Essa mudança proporcionará redução dos custos para a empresa. A Figura 4.11 apresenta a proposta de melhoria para anexar a etiqueta automaticamente:

Figura 4.11 - Proposta de Etiquetagem automática.



Fonte: Autor, (2021).

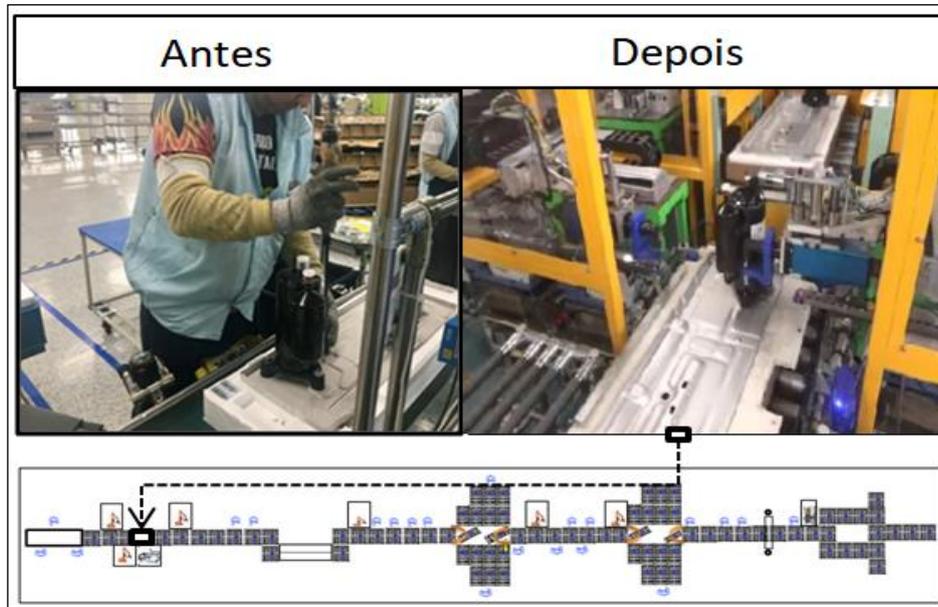
4.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após análise e instalação das melhorias no layout, a seguir será apresentado os resultados das melhorias aplicadas e seus efeitos.

4.2.1 Fixador de Compressor

Fixador de Compressor passa a ser automático: a fixação do compressor passa a ser feita pelo equipamento automático. A fixação do compressor é feita por duas parafusadeira acopladas em cilindros que trabalham junto ao controle de toque de forma simultânea. Realocação do operador. A Figura 4.12 apresenta o resultado da aplicação do fixador do compressor automático:

Figura 4.12 - Fixador de automático do compressor.

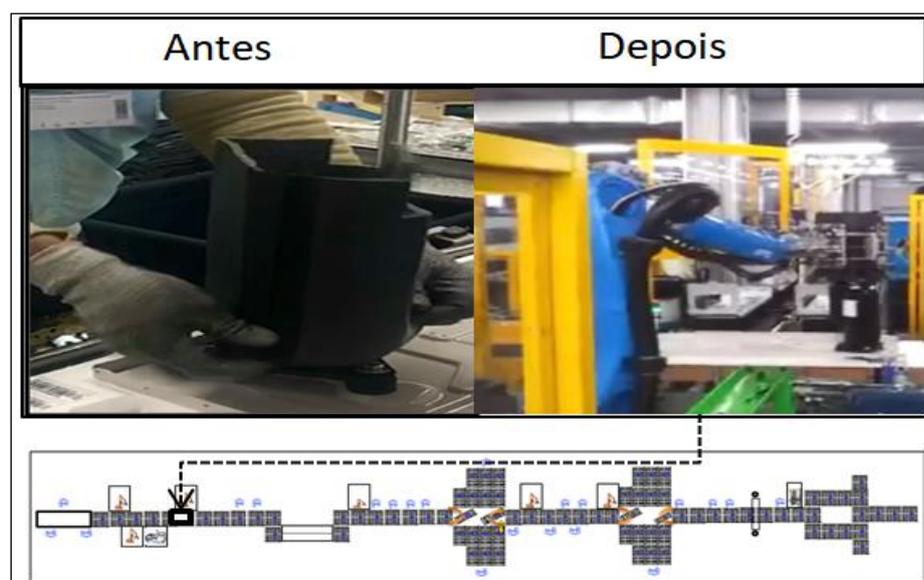


Fonte: Autor, (2021).

4.2.2 Inserção da Manta Térmica

Inserção da manta térmica passa a ser automática: o tempo de inserção da manta é reduzido. A Figura 4.13 apresenta o resultado da aplicação do robô para inserir a manta térmica de forma automática, resultando no remanejamento do operador para outras funções na empresa:

Figura 4.13 - Inserção da manta térmica.

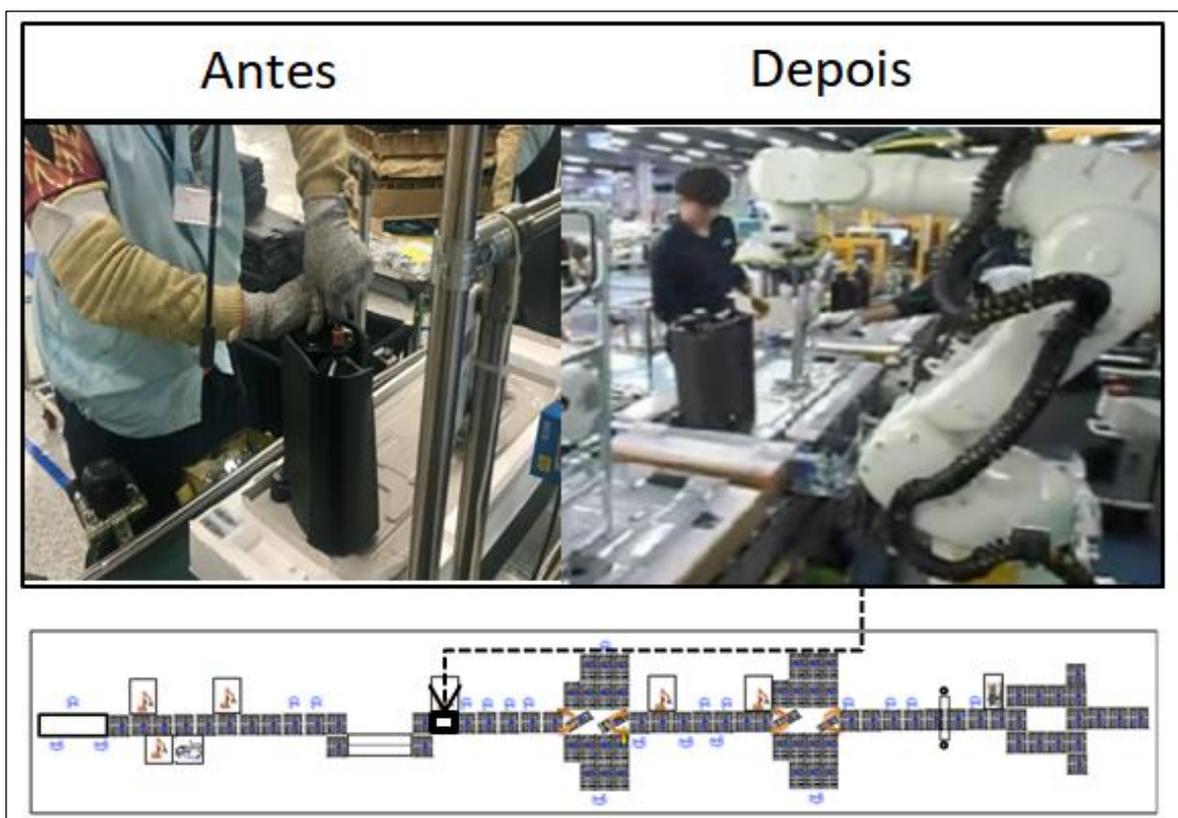


Fonte: Autor, (2021).

4.2.3 Retirada da Tampa de Proteção do Compressor

Retirada da tampa de proteção do compressor passa a ser automática: a retirada da proteção do compressor feito por de um robô da marca ABB trás agilidade ao processo, bem como redução de afastamento por doenças ocupacionais oriundas de ações repetitivas. A Figura 4.14 apresenta o resultado da aplicação do robô para retirada da proteção do compressor:

Figura 4.14 - Retirada da proteção do compressor automática.

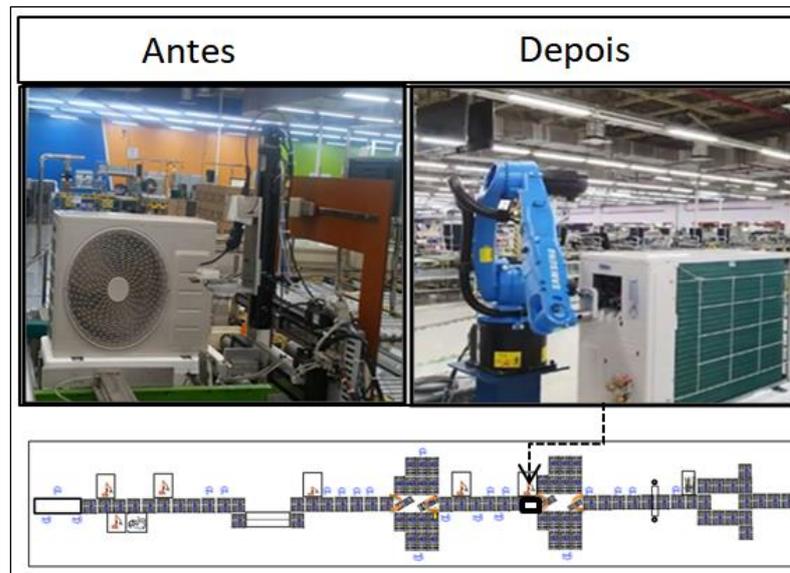


Fonte: Autor, (2021).

4.2.4 Teste de HIPOT

Teste de HIPOT passa a ser operado por um robô: resultando em celeridade ao processo e aumento na precisão dos movimentos, teste mais confiável e redução da quantidade de falsos defeitos. A Figura 4.15 apresenta o resultado da aplicação do robô no teste de voltagem:

Figura 4.15 - HIPOT automático.

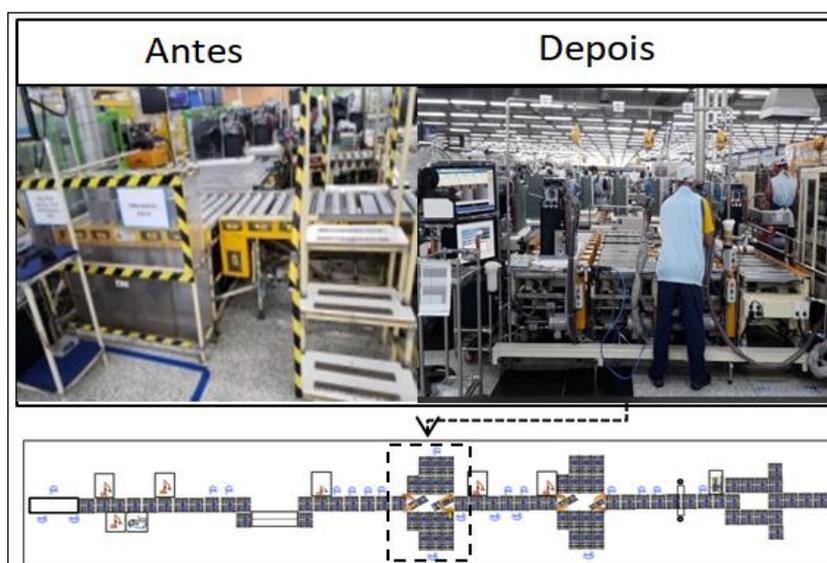


Fonte: Autor, (2021).

4.2.5 Carga de Gás

Carga de gás passa a ser feito com apenas 2 operadores: a quantidade de operadores foi reduzida. Agora o processo é apenas com dois operadores que ficam fora das células (1 operador faz a montagem e outro faz o controle). Também foi adicionado mais uma esteira na área de montagem. Resultado, redução de 2 operadores. A Figura 4.16 apresenta o resultado da aplicação do novo layout na área de carga de gás:

Figura 4.16 - Área de Gás R410.

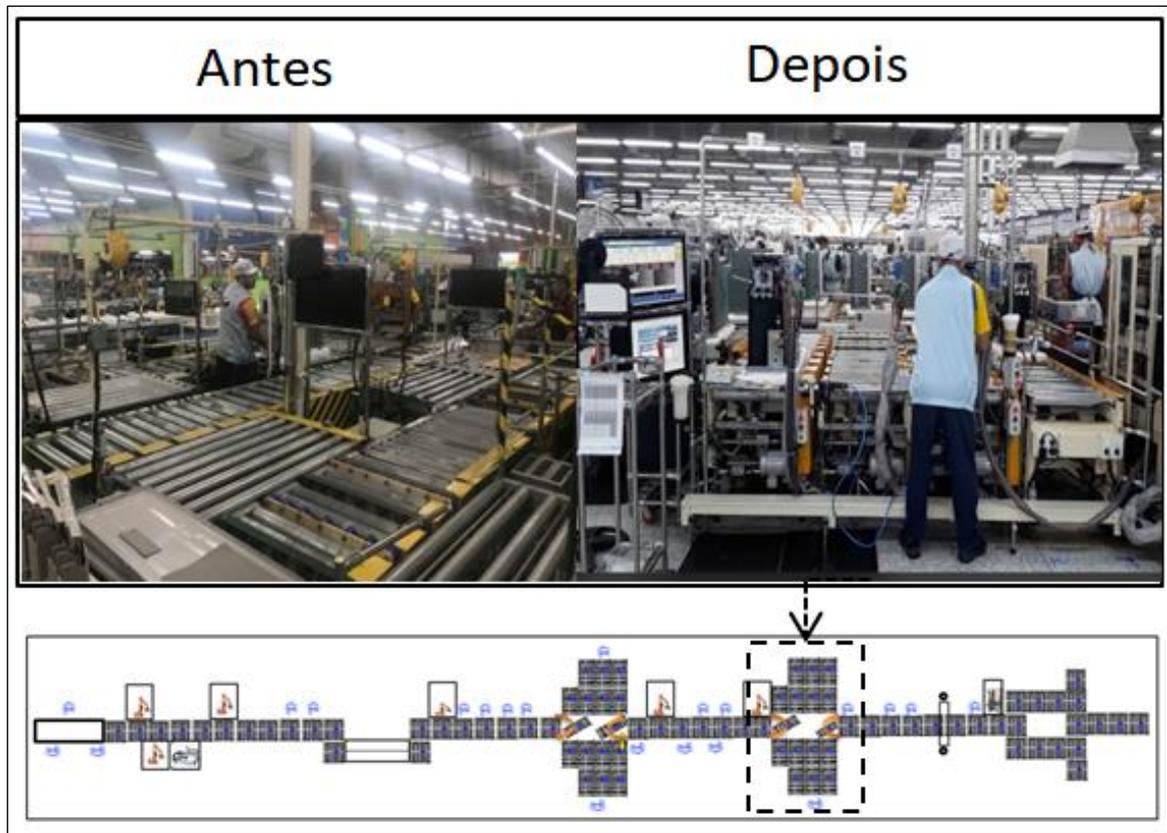


Fonte: Autor, (2021).

4.2.6 Teste de Desempenho

Teste de desempenho passa a ser feito com 2 operadores: o setor de teste de desempenho de condicionadores de ar passa a ter apenas 2 operadores fora das células. A Figura 4.17 apresenta o resultado da aplicação do novo layout da área do teste funcional:

Figura 4.17 - Área de Teste de desempenho.

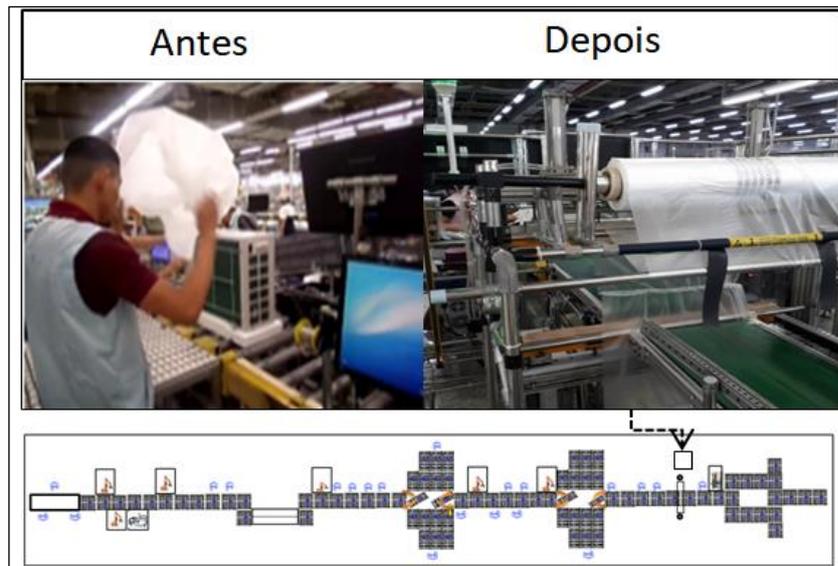


Fonte: Autor, (2021).

4.2.7 Inserção da Bolsa de Proteção

Inserção da bolsa de proteção passa a ser automática: a inserção do plástico de proteção é feita por meio de equipamento automático, assim reduzindo a quantidade de atividades da estação de trabalho, tornando o processo balanceado. A Figura 4.18 apresenta o resultado da aplicação da máquina de inserção de vinil automaticamente:

Figura 4.18 - Inserção da vinil de proteção automática.

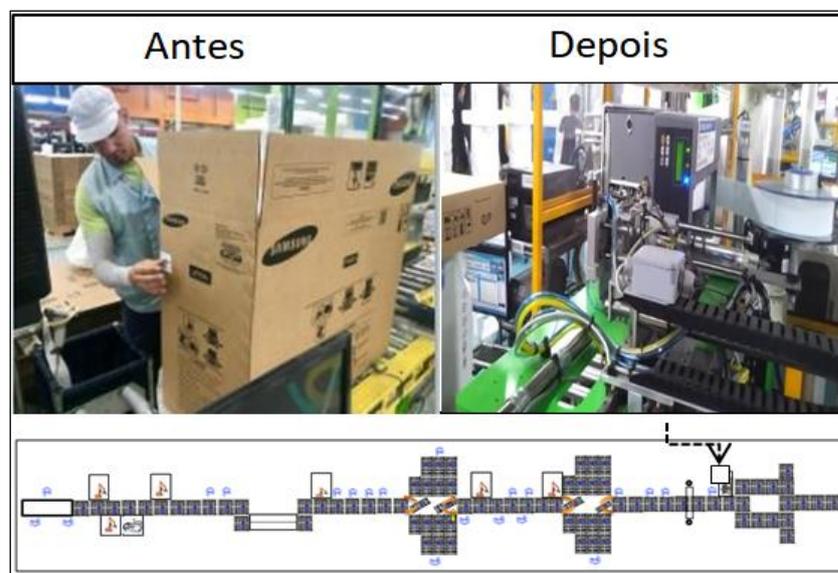


Fonte: Autor, (2021).

4.2.8 Etiquetagem

Etiquetagem passa a ser de forma automática: etiquetagem do produto é efetuada por um equipamento automático, depois da automação do posto, houve maior fluidez no processo, pois o processo de etiquetagem é o último posto do layout, logo, é de suma importância a otimização dessa estação, pois qualquer problema nesse posto, pode travar todo processo. A Figura 4.19 apresenta o resultado da aplicação da automação no posto de etiquetagem:

Figura 4.19 - Etiquetagem do aparelho automática.



Fonte: Autor, (2021).

4.3 TAMANHO DA LINHA

A flexibilização dos arranjos das instalações entre os equipamentos, objetos e operadores (como no caso da redução ou realocação de operadores na área de controle de gás e teste de desempenho), bem como a padronização e aumento de esteiras transportadoras e implementação de buffers resultaram no aumento do tamanho da linha, de 74,6 metros para 79,6 metros.

4.4 CAPACIDADE DE PRODUÇÃO

Atualmente, a linha produz cerca de 1490 unidades de condicionadores de ar por dia, sendo operada por 31 operadores. Com o novo layout a linha pode produzir 1800 unidades de condicionadores de ar por dia. Essa produção diária é feita por 23 operadores. Para encontrar a nova capacidade de produção segue os seguintes cálculos.

Dados:

Força de trabalho da linha anterior: 31 operadores

Força de trabalho da nova linha: 23 operadores

Capacidade máxima de produção da linha anterior: 1490

Quantidade de máquinas e robôs na nova linha: 06

$$\text{Produção por operador} = \frac{1490}{31} \quad (4.1)$$

$$\text{Produção por operador} = 48 \text{ unidades}$$

$$\text{Houve uma redução de 08 operadores.} \quad (4.2)$$

08 operadores x 48 unidades = 384 unidades.

Então, $1490 - 384 = 1.106$ unidades

1.106 unidades é a produção diária de 23 operadores que restaram.

Agora, calculando a produtividade das máquinas a seguir:

Dados:

Um robô ou um equipamento produz em média 2,41 vezes mais que um operador humano. Produção por operador: 48 unidades. Assim;

$$\text{Produção por máquina/dia} = 2,41 \times \text{Produção por operador} \quad (4.3)$$

$$\text{Produção por máquina/dia} = 2,41 \times 48 \text{ unidades por operador}$$

$$\text{Produção por máquina/dia} = 115,7$$

$$\text{Agora, 1 robô produz por dia } 115,7 \text{ unidades. Ou seja, } 115 \times 6 = 694,08. \quad (4.4)$$

Por fim, o seguinte resultado:

$$\text{Produção total do novo layout} = \text{Produção Máq} + \text{Produção Op} \quad (4.5)$$

$$\text{Produção total do novo layout} = 694,08 + 1.106$$

$$\text{Produção total do novo layout} = 1800$$

Os 6 robôs produzindo 694,08 unidades por dia + 1.106 unidades produzidas pelos 23 operadores. O novo layout produzirá aproximadamente **1.800** unidades por dia.

4.5 TEMPOS DE PRODUÇÃO

A substituição da mão de obra humana pela automação, em certos pontos da linha de produção, é vista como vantagens para a empresa, pois diminui o tempo de produção de 20.4 segundos para 16.9 segundos (*takt time*); reduz os custos com mão de obra e diminui os erros nos processos produtivos, além do que, propõe maior volume de produção e qualidade dos processos e produtos. A Tabela 4.1 apresenta o resultado comparativo entre os layouts.

Tabela 4.1 - Tabela de comparação de resultados.

	Capacidade de Produção			Nº de Operadores			Custo R\$
	Agora	Depois	Aumento	Antes	Depois	Redução	
	1490	1800	310	31	23	8	
Line	Takt time (20.4)	Takt time (16.9)	(21% ↑)				1.539.890

Fonte: Autor, (2021).

4.6 EFICIÊNCIA

O resultado do remodelamento do layout foi o aumento de produção, a capacidade produtiva saltou de 1490 para 1800 de aparelhos de condicionadores de ar por dia, ou seja, 21% de aumento na produtividade. O tempo padrão houve também obteve o resultado

esperado, a eficiência total do processo foi de 78,4%, a Tabela 4.2 apresenta dados eficiência, balanceamento e tempo para encher o processo total:

Tabela 4.2 - Eficiência total do processo.

Tempo de encher processo	Perda por balanceamento	Eficiência total do processo	Gargalo
277,7 (seg.) ou 4,6 min	8%	78,4	16,9 (seg)

Fonte: autor, (2021).

Conforme as propostas de melhorias expostas neste projeto, o novo layout apresenta uma redução da mão de obra humana, de 31 operadores para 23 operadores, pois como já abordado no desenvolvimento deste trabalho, houve a necessidade de otimizar determinados pontos da linha de produção. A substituição da mão de obra humana pela automação em certos pontos da linha de produção é vista como vantagens para a empresa, pois diminui o tempo de produção de 20.4 segundos para 16.9 segundos (*takt time*); reduz os custos com mão de obra e diminui os erros nos processos produtivos, além do que, propõe maior volume de produção e qualidade dos processos e produtos. A flexibilização dos arranjos das instalações entre os equipamentos, objetos e operadores (como no caso da redução de operadores na área de controle de gás e teste de desempenho), bem como a padronização e aumento de 1 esteira transportadora e implementação de buffers resultaram no aumento do tamanho da linha, de 74,6 metros para 79,6 metros. Dessa forma, com o remodelamento do layout, espera-se um aumento de produção diária de 1490 unidades para 1800 unidades de aparelhos de condicionadores de ar, ou seja, 21% de aumento na produtividade.

4.7 VANTAGENS E DESVANTAGENS

Após instalação do layout é possível destacar as vantagens e desvantagens da mudança. O Quadro 4.1 apresenta vantagens e desvantagens do novo layout. É importante observar as informações da tabela para estabelecer um plano de ação a fim de evitar problemas futuros no processo:

Quadro 4.1 - Vantagens e desvantagens para implementação do novo layout.

Item	Descrição	Vantagem	Desvantagem
1	Produção	Aumento da capacidade de produção (1.800 unidades por dia)	Treinamento de operadores para operar os equipamentos de teste

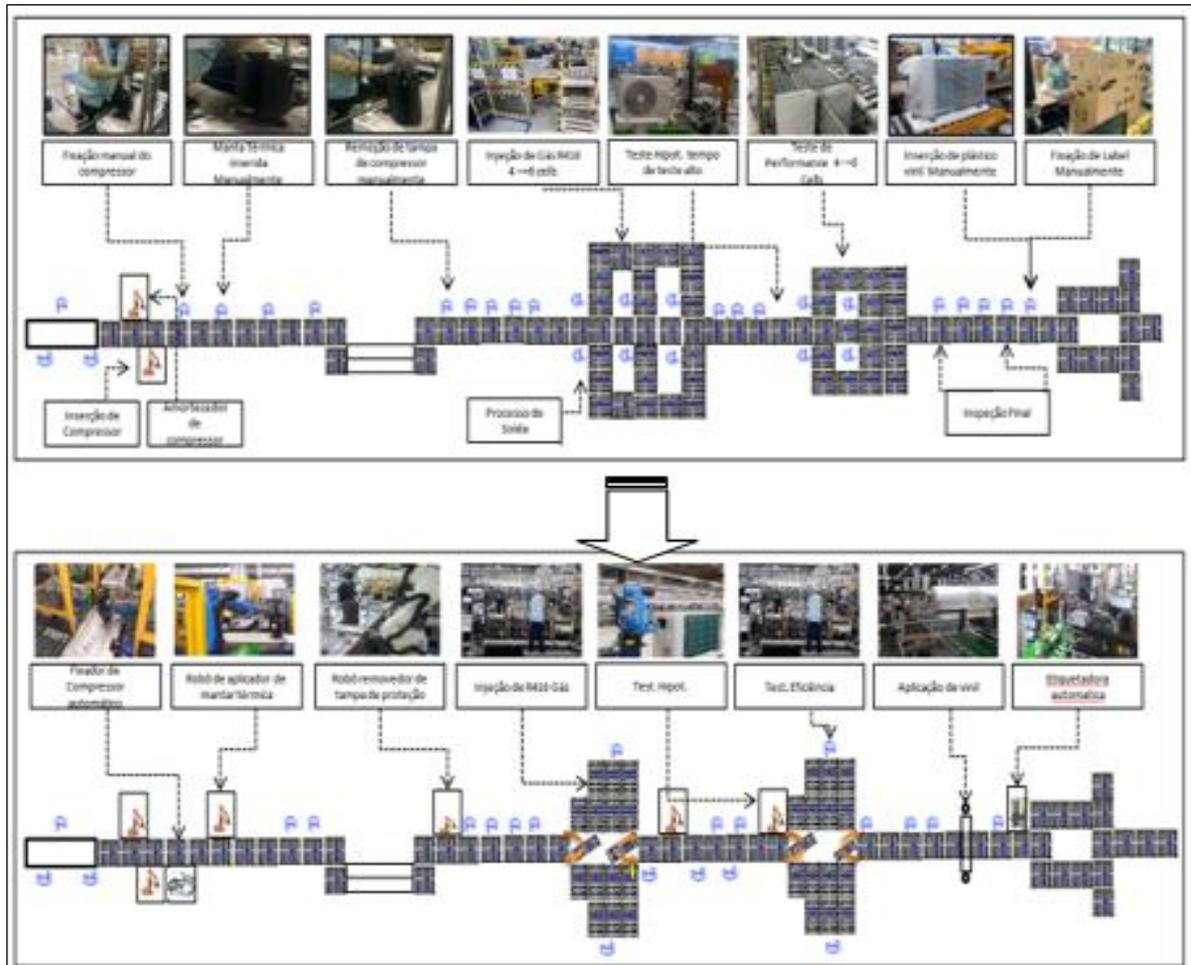
Item	Descrição	Vantagem	Desvantagem
		Redução de tempo de produção takt time de (20.4) → (16.9).	automáticos (muitos equipamentos e pouca equipe técnica).
		Redução de mão de obra humana de 31 operadores para 23 operadores.	
2	Qualidade	Operadores não precisam trabalhar nas células (área de montagem e teste de desempenho).	
3	Automação	Padronização do tamanho das esteiras transportadoras	
		Aumento do tamanho da linha de produção de 74,6 m para 79,6 m.	
		Mais espaços na área de montagem com a adição de 1 esteira.	
		Redução dos problemas no sistema de frenagem.	

Fonte: Autor, (2021).

4.7.1 Painel de Melhorias – Antes e Depois

A Figura 4.20 Mostra a comparação do Layout 2020 vs 2021, onde podemos verificar com mais clareza os pontos onde foram modificados e seus aspectos. Com o aumento do número de esteiras no processo, houve uma satisfação por parte dos colaboradores e da gestão, o processo 2020 havia pouco espaço para armazenar os insumos, a nova Linha Trouxe fluidez e espaço para armazenamento de materiais gerando conforto para o colaborador. A Figura 4.17 apresenta a comparação dos layouts antes de depois:

Figura 4.20 - Layout 2020 vs Layout 2021.

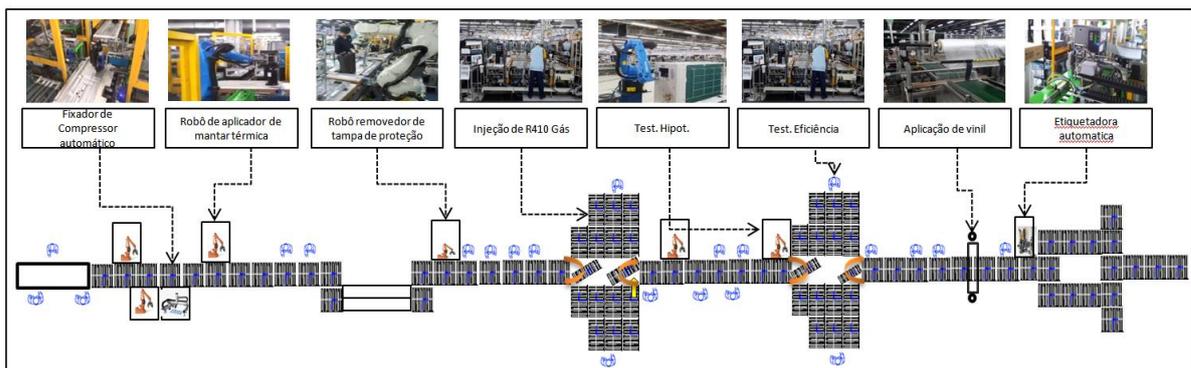


Fonte: Autor, (2021).

4.7.2 Novo Layout

Novo Layout – Linha de Montagem da Unidade Condensadora (2021). A Figura 4.21 apresenta o layout após a aplicação das melhorias já implantadas com as respectivas posições:

Figura 4.21 - Layout 2021.



Fonte: Autor, (2021).

4.7.3 Análise de Resultados Após as Instalações das Melhorias

Após a instalação do novo layout, foi feito um novo estudo no processo para verificar a eficiência do novo layout. A tabela abaixo é o resultado das estações de trabalho verificou – se que a linha está atendendo a demanda de 1800 unidades por dia. Os colaboradores estão em processo de adaptação com a nova linha. Já surge novas propostas de melhorias para o novo Layout, reforçando o princípio de melhoria contínua. A Tabela 4.3 apresenta os resultados das estações de trabalho após a implantação do novo layout:

Tabela 4.3 - Análise de balanceamento de processo.

Nº	Estação de Trabalho	Ciclo Time	Down Time 10%	Tempo Padrão	Ocupação	Perda
1	Desembalagem	14,3	1,4	15,9	95%	5%
2	Robô grooment	14,6	1,5	16,2	97%	3%
3	Robô compressor	14,9	1,5	16,6	99%	1%
4	Parafusar comp.	14,7	1,5	16,3	97%	3%
5	Inserir Manta T.	13,7	1,4	15,2	91%	9%
6	Inserir cond.	13,8	1,4	15,3	91%	9%
7	R. tampa comp.	11,6	1,2	12,9	77%	23%
8	Tubulação	13,6	1,4	15,1	90%	10%
9	Solda	14,6	1,5	16,2	97%	3%
10	Montagem I	15,0	1,5	16,7	99%	1%
11	Gás Refrigerante R410	14,9	1,5	16,6	99%	1%
12	Selagem	12,3	1,2	13,7	81%	19%
13	Teste de vazamento	15,1	1,5	16,8	100%	0%
14	Montagem II	14,7	1,5	16,3	97%	3%
15	Hipot teste	13,1	1,3	14,6	87%	13%
16	Teste Funcional	14,3	1,4	15,9	95%	5%
17	Acessórios	13,6	1,4	15,1	90%	10%
18	Plástico-Bag	10,9	1,1	12,1	72%	28%
19	Embalagem	13,7	1,4	15,2	91%	9%
20	Etiqueta	11,3	1,1	12,6	75%	25%

Fonte: Autor, (2021).

4.8 CUSTOS

Os custos foram divididos em três partes, máquinas, robôs e estrutura, o custo com máquinas somaram 480 mil reais, os robôs somaram 329 mil reais, e por fim os custos com

estruturas e reforma das esteiras transportadoras com troca de rolamentos, correntes, pintura e etc. Os investimentos chegaram a 1.539.890 reais. A Tabela 4.4 apresenta os custos do projeto:

Tabela 4.4 - Custos.

Item	Descrição	Custo (Reais)	ROI
1	4 Máquinas	481.650,00	
2	3 Robôs	329.550,00	
3	Estrutura + adição e reforma de esteiras		2.5 Anos
		728.690,00	
TOTAL DE CUSTOS		1.539.890 R\$	

Fonte: Autor, (2021).

4.9 CRONOGRAMA DE ATIVIDADES

A mudança de layout foi feita durante o período de férias coletivas da produção, que teve início dia 21/12/2020 a 22/01/2021, a duração da mudança foi de quatro semanas. Os setores que participaram da mudança foram: Engenharia, Manutenção, Elétrica, Gestores de Produção, Refrigeração, Informática, também foi contratado uma empresa terceirizada para realizar serviços de utilidades da mudança. A Tabela 4.5 apresenta cronograma de atividade, e o período em que foi realizada:

Tabela 4.5 - Cronograma de instalação do novo layout.

<i>Item</i>	<i>Descrição</i>	<i>Observação importante</i>	<i>Passo 1</i>	<i>Passo 2</i>	<i>Passo 3</i>	<i>Passo 4</i>
			<i>Semana</i>	<i>Semana</i>	<i>Semana</i>	<i>Semana</i>
			<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
	Remoção dos					
1	equipamentos que serão reaproveitados (sensores, hipot)	Remoção será feita pela equipe do RAC para evitar danos na desinstalação dos equipamentos	X			
2	Remoção do sistema de ar comprimido	É importante que a remoção da tubulação seja feita assim que a linha estiver disponível, pois a remoção de alguma esteira depende da remoção tubulação de ar comprimido e calhas elétricas.	X			
3	Desligamento da rede elétrica da linha	É importante que o desligamento da rede elétrica e a remoção das calhas sejam feitas simultaneamente, pois algumas esteiras poderão ser removidas quando forem removidas calhas e tubulações de ar comprimido.	X			

<i>Item</i>	<i>Descrição</i>	<i>Observação importante</i>	<i>Passo 1</i>	<i>Passo 2</i>	<i>Passo 3</i>	<i>Passo 4</i>
			<i>Semana 1</i>	<i>Semana 2</i>	<i>Semana 3</i>	<i>Semana 4</i>
4	Remoção das esteiras	Remoção de todas as esteiras e equipamentos para reforma e limpeza	X			
5	Troca de piso	Remoção e instalação do novo piso	X			
6	Reformas das esteiras	Troca de rolamentos, correntes, pintura e padronização da estrutura.	X	X		
7	Reformas dos painéis elétricos	Pintura e troca dos componentes elétricos e distribuição para o novo layout	X	X		
8	Posicionamento das esteiras e equipamentos do novo layout	Posicionar esteiras, Robôs e periféricos para iniciar as ligações elétricas.				X
9	Ligação de Utilidades	Ligação de ar comprimido e energia nos equipamentos posicionados				X
10	Programação CLP/Robôs	Programação do algoritmo de funcionamento da linha				X
11	Teste da Linha	Teste de funcionamento da linha, envolvendo os setores relacionados ao processo (produção, engenharia, manutenção, qualidade)				X
12	Primeira produção	Primeira produção, onde serão analisados os pontos que ainda precisam ser melhorados.				X

Fonte: Autor, (2021).

CAPÍTULO 5

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste Capítulo são apresentadas as considerações finais e recomendações para trabalhos futuros.

5.1 CONCLUSÕES

A pesquisa alcançou os objetivos estabelecidos, no qual, foi elaborado e apresentado uma modelo computacional simulado focado na previsão de resultados e previsibilidade de problemas inerente a processos industriais. Neste contexto, foram levantadas algumas questões acerca da aplicabilidade do modelo simulado como ferramenta de tomada de decisão.

Parte do processo de coleta de dados foi feita juntamente com os colaboradores da linha objeto da pesquisa, através de entrevistas, teve como resultado sugestões que foram aplicadas no novo layout, como idealização do layout da carga de gás e teste funcional da linha pelo time da produção, que resultou na redução de quatro operadores nos postos relacionados. Outra parte foi feita através de cronoanálise, coletados no processo e de históricos de produção.

O resultado da primeira etapa da análise de processo deu-se com a identificação dos problemas que impossibilitava obtenção o aumento de capacidade de 1400 para 1800 unidades diárias, os pontos identificados após análise foram os oito postos de trabalho a serem melhorados.

A linha apresentava alguns postos de trabalho que geravam problemas de ergonômicos, o posto de trabalho ‘remoção da tampa do compressor’, havia rotatividade constante entre os colaboradores, pois para remover a tampa de proteção do compressor, o operador precisava fazer um esforço físico, onde ocasionava lesão no ombro e mãos, o resultado para solução desse problema, foi instalado robô para fazer essa atividade, eliminando o risco de lesão e afastamento do colaborador do trabalho.

Após o processo de análise e identificação dos problemas que impossibilitavam o aumento de capacidade produtiva, foi feito modelo simulado no *PLANT SIMULATION*, considerando as sugestões requeridas nos tópicos anteriores, através da simulação computacional foi possível simular diversos tipos de layout até finalmente compilar no modelo com os melhores resultados. Conclui-se que sem o ambiente de simulação os resultados do novo processo seriam incertos.

Após instalação do novo layout foi feita novas medições onde os resultados foram similares aos resultados da simulação, trazendo vários benefícios para a companhia como;

- Eliminação de problemas ergonômicos;
- Redução de custo com operadores 31→23;
- Aumento da qualidade e confiabilidade nos testes;
- Bem estar dos colaboradores, aumentando o espaço entre os postos;
- Aumento da capacidade produtiva 1490 →1800 unidades.

Porém podemos citar algumas desvantagens e alguns pontos de atenção que a empresa deve considerar que são:

- Treinamento da equipe técnica para manutenção dos robôs e equipamentos automáticos;
- Treinamento da equipe de produção;
- Treinamento da equipe de qualidade;
- Investimentos em peças de reposição.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O tema abordado na pesquisa é amplo e pode ter diversas aplicações, é possível considerar alguns elementos de sugestões para pesquisas futuras, sendo eles:

- Aplicação de simulação computacional para processo;
- Aplicação de simulação em redes neurais em ambiente industrial;
- Aplicação de simulação computacional em outros processos industriais (automotivos farmacêuticos, alimentício);
- Integrar diversos tipos de software de simulação computacional.

REFERÊNCIAS

- A.M. Law, W.D. Kelton, **Simulation modeling and analysis**, McGraw-Hill, New York, 1991.
- ACHANGA, P.; SHEHAB, E.; ROY, R. e NELDER, G. **Critical Success Factors for Lean Implementation Within SMEs**. **Journal Manufacturing Technology Management**. v. 17, n. 4, p. 460-471, 2006.
- AFONSO, H. **Gestão da Performance na Cadeia de Abastecimento Lean: Desenvolvimento de uma Framework baseada no Balanced Scorecard**, dissertação de mestrado em Engenharia e Gestão Industrial. Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2012.
- AL DAKHEEL, Joud et al. **Smart buildings features and key performance indicators: A review**. *Sustainable Cities and Society*, p. 102328, 2020.
- ALMEIDA, R. **Lean Manufacturing: Melhorar o desempenho de linhas de produção**, dissertação de mestrado em Gestão e Engenharia Industrial. Universidade Aveiro: Aveiro, 2010.
- ANDALOUSSI, K. El. **Pesquisas- Ações: Ciência, Desenvolvimento, Democracia**. São Carlos: Edufscar, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5462: confiabilidade e manutenibilidade - terminologia. Rio de Janeiro, 1994.
- BAI, Bin et al. Fault data screening and failure rate prediction framework-based bathtub curve on industrial robots. **Industrial Robot: the international journal of robotics research and application**, 2020.
- BALLÉ, F; BALLÉ, M. **A Mina de Ouro: uma transformação lean em romance**. Porto Alegre: Bookman, 2007.
- BARBOSA, C. **Manual Prático de Produção Gráfica 3**. Portugal: Principia Editora, 2012.
- BERTO, R. M. V. S.; NAKANO, D. N. **A Produção Científica nos Anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção: Um Levantamento de Métodos e Tipos de Pesquisa**. *Produção*, v. 9, n. 2, 2000.

BLUMENTHAL, B.; HASPELAGH, P. **Toward a Definition of Corporate Transformation**. Sloan Management Review, v. 35, n. 3, 1994.

BOURA, A. **Implementação do Sistema Kaizen na Gestão de Produção**, dissertação de mestrado em Gestão e Engenharia Industrial. Universidade de Aveiro, Aveiro, 2011.

CABRAL, J. **Organização e Gestão da Manutenção dos Conceitos à Prática**. 5.^a ed., Lidel, Edições Técnicas, Lisboa, 2006.

CAMINA, Ester. et al. **Automation technologies: Long-term effects for Spanish industrial firms**. Technological Forecasting & Social Chang. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.119828>

CAMPOS, Sonia. et al. Estratégia para Rever e Implementar Melhoria Contínua da Qualidade no Processo Produtivo. **VIII Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia (SEGeT)** Resende, RJ, Brasil. 2011.

CORDEIRO, B. V. J. Sistema Toyota de Produção: Novo Paradigma Produtivo ou Estratégia de Operações? In: **XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2007.

CORREA, H. L.; CORREA, C. A. **Administração de produção e operações**. São Paulo, Atlas. 2004.

CRISTÓVÃO, Carlos Alberto Mendes. (2014). **Análise e otimização de uma linha de produção, retirado da internet no dia 01/12/2020**. Disponível em: https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/19087/1/Tese_An%C3%A1lise%20e%20otimizac%C3%A7%C3%A3o%20de%20uma%20linha%20de%20produ%C3%A7%C3%A3o_%20carlos.pdf. Acesso em: 20 de Fevereiro de 2021.

DALE, B., e BUNNEY, H. **Total Quality Management**, Oxford, UK, Blackwell Publishers Inc, 1999.

DAVIS, Lucas. et al. **Air conditioning and global inequality**. Global Environmental Change Volume 69, July 2021, 102299. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2021.102299>

DENNIS, P. **Produção lean simplificada**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2008.

DINARDI, Phellipe Tocchetto; DA COSTA, Keven Soares; TORNÉ, Israel Gondres. **Termografia em um contexto de manutenção industrial eficiente**. Na era da Automação Volume, p. 48. 2020.

FEITOSA, B. A.; FONTANINI, C. A. C.; WESLEY, V. S. Metodologia Lean: Construção Aplicada no Setor de Geração, Transmissão e Distribuição de Energia na Coordenação de Projetos da Construção Civil. In: **XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, p. 1- 9, 2007.

FERNANDES, F. C. F.; FILHO, M. G.; DIAS, F. T. **Proposta de um método baseado em indicadores de desempenho para avaliação de princípios relativos à manufatura enxuta**. XXV Encontro Nacional de Engenharias de Produção. Porto Alegre, 29 out. a 1 nov. 2005.

FLETCHER, Sarah r. et al. Adaptive automation assembly: **Identifying system requirements for technical efficiency and worker satisfaction**. Computers & industrial engineering. v. 139. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.03.036>>. Acessado em 20 de Janeiro de 2021.

Frey, C.B., Osborne, M.A., 2017. **The future of employment: how susceptible are jobs to computerization?** **Technol. Forecast. Soc. Chang** 114, 254–280. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.08.019>

FURASTÉ, Pedro Augusto. **Normas Técnicas para o Trabalho Científico**: Explicação das Normas da ABNT. – 15. Ed. Porto Alegre: s.n. 2009.

GAMAGE, J. R. et al. Impact of lean manufacturing on performance and organizational culture: **a case study of an apparel manufacturer in Sri Lanka**. In: The third international conference on engineering, project and production management (EPPM), United Kingdom, 2012.

HARRISON, A.; HOEK, R. V. **Estratégia e gerenciamento de logística**. In: III Simpoi, 2003.

HINES, P.; TAYLOR, D. **Guia para implementação da manufatura enxuta: lean manufacturing**. São Paulo: Imam, 2000.

<https://18horas.com.br/brasil/producao-industrial-de-eletronicos-e-de-motocicletas-tiveram-avanco-em-julho-mostra-ibge/> Acessado: 22/02/2022

IMAI, M. **Kaizen**: a estratégia para o sucesso competitivo. 5. Ed. São Paulo: IMAM, 1994.

International Energy Agency, 2018 **International Energy Agency**. 2018. The Future of Cooling: Opportunities for Energy-Efficient Air Conditioning. International Energy Agency.

International Journal of Operations and Production Management, v. 22. n. 2, p. 195-219, 2002.

J. Vrchota, M. Pech, L. Rolínek, J. Bednář. **Sustainability outcomes of green processes in relation to industry 4.0 in manufacturing: systematic review**. Sustainability, 12 (15) (2020), p. 5968

J.F. Persson, **The impact of different levels of detail in manufacturing systems simulation models, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**. 18 (2002) 319–325.

J.M. Müller, D. Kiel, K.I. Voigt. **What drives the implementation of Industry 4.0? The role of opportunities and challenges in the context of sustainability**. Sustainability, 10 (1) (2018), p. 247

Jenny L, Diaz C, Ocampo-Martinez C. **Energy efficiency in discrete-manufacturing systems: insights, trends, and control strategies**. J Manuf Syst 2019;52(A):131–45. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2019.05.002>

JIMENEZ, Genett. et al. **improving Productivity and Quality in the Value Chain through Lean Manufacturing – a case study**. Procedia Manufacturing 41 (2019) 882–889. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.10.011>

JUSTA, M. **Gestão da mudança & lean manufacturing**: transformando operações em vantagem competitiva sustentável. – 1. ed. – Curitiba: Appris, 2016.

KOBAYASHI, H., **Modelling and analysis: an introduction to system performance evaluation methodology**. New York, Addison-Wesley, 1978.

KOJO, R. H.; BRANDALIZE, A. **Implantação do programa 5S**. Disponível em: <http://www.unifil.br/adm/artigos/implantacao_do_programa_5S.pdf>. Acesso em: 20 de abril de 2021.

KUHN, T. **A Estrutura das Revoluções Científicas**. 7. ed. São Paulo: Perspectiva, 2003.

LAMB, Frank. **Automação Industrial na Prática: Eixo - Controle de Processos Industriais**. Porto Alegre: Amgh Editora Ltda, 2015.

LAPA, R. **Programa de Qualidade 5S**. Qualitymark: Rio de Janeiro, 2000.

LEITE, T. **Implementar Conceitos de Produção Lean numa Linha de Montagem de Componentes Elétricos**, Universidade do Minho, Minho, 2011.

Levy B. **The interface between globalization, trade and development: theoretical issues for international business studies**. *Int Bus Rev* 2007;16(5):594–612. <https://doi.org/10.1016/j.ibusrev.2007.06.004>

LIDBERG, Simon. et al. **Applying Aggregated Line Modeling Techniques to Optimize Real World Manufacturing Systems**. *Proceeded Manufacturing Volume 25*, 2018, Pages 89-96. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.06.061>. Acess February 2022.

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

LIMA, T. C.; ELIAS, B. J. S. Análise dos Resultados da Implantação da Produção Enxutas Organizações: um Estudo a partir dos Casos Relatados no ENEGEP. In: **XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, p. 1- 9, 2007.

LORENZATTO, T. J.; RIBEIRO, D. L. J. Projeto de Layout Alinhado às Práticas de Produção Enxuta em uma Empresa Siderúrgica de Grande Porte. In: **XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, p. 1- 9, 2007.

LUFT, C. P. *Minidicionário Luft*. 20. ed. São Paulo: Ática, 2002.

LUO, guanlin. et al. **Application of computer simulation and high – precision visual matching technology in Green city garden landscape design**. *Environmental technology innovation*. Volume 24, November 2021, 101801. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101801>

LUO, Weichao et al. A hybrid predictive maintenance approach for CNC machine tool driven by Digital Twin. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, v. 65, p. 101974, 2020.

M Rachwal T. **Industrial restructuring in Poland and other European Union states in the era of economic globalization.** Procedia- Soc Behav Sci 2011;19:1–10. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.05.100>

Martin T, Ulich E, Warnecke HJ. **Appropriate automation for flexible manufacturing.** Automatica 1991;26(3):611–16. [https://doi.org/10.1016/0005-1098\(90\)90034-F](https://doi.org/10.1016/0005-1098(90)90034-F)

MENEGON, David. et al. Relacionamento entre desperdício e técnicas a serem adotadas em um sistema e Produção Enxuta. **XXIII Encontro Nac. de Eng. de ProduçãoOuro Preto, MG, Brasil. 2003.**

MOKTADIR, Md Abdul et al. An investigation of key performance indicators for operational excellence towards sustainability in the leather products industry. **Business Strategy and the Environment**, v. 29, n. 8, p. 3331-3351, 2020.

N. Shariatzadeh. et al. **Software Evaluation Criteria for Rapid Factory Layout Planning, Design and Simulation.** Procedia CIRP. Volume 99, 2021, Pages 122-126. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2012.07.052>

NABAIS, A. O Papel do VSM no Desempenho de Sistemas de Produção Eficientes, **dissertação de mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores Major Automatação, 2012.**

NONAKA, I.; TAKEUCHI, H. **Criação de conhecimento na empresa.** 8. ed. Campus, 1997.

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

PALADINI, E. P. **Gestão da qualidade: teoria e prática.** São Paulo: Atlas, 2000.

PELLICCIA, luigi. et al. **Applicability of 3D-factory simulation software for computer-aided participatory design for industrial workplaces and processes.** Procedia CIRP. Volume 3 , 2012 , Páginas 299-304. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.03.019>

Pensamento “Lean”: A Filosofia das Organizações Vencedoras, 6.^a ed., Lidel – Edições Técnicas, Lisboa, 2009.

PICCAROZZI, Michela. et al. **Is this a new story of the ‘Two Giants’? A systematic literature review of the relationship between industry 4.0, sustainability and its pillars.** Technological Forecasting and Social Change Volume. 2022
<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121511>

PINTO, J. **Gestão de Operações na Indústria e nos Serviços**, Lidel – Edições Técnicas, Lisboa, 2006.

PLANT SIMULATION. Visão Geral do Produto. Disponível em:<https://Tecnomatix | Siemens Digital Industries Software>. Acesso em 2 Abril. 2021.

PRABHA, Sachin. et al. **Development of Eco-friendly & Self-Energizing Air-conditioner unit design.** J Manuf Syst 2021. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.09.156>

RÉ, T. A. C.; LIMBERGER, J. S.; VIANNA, B. W.; CUNHA, A. C. J. C. O Impacto da Cultura Organizacional no Processo de Gestão do Conhecimento. XXVII **Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, Foz do Iguaçu/PR, Brasil, 2007.

RIBEIRO, Jorge. et al. **Robotic Process Automation and Artificial Intelligence in Industry 4.0 – A Literature review.** Procedia Computer Science 181 (2021) 51–58.
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.104>

RODRIGUES, P. **Análise Dinâmica do Comportamento Térmico de Edifícios, dissertação de mestrado em Engenharia Civil**, Universidade de Aveiro, Aveiro, 2012.

RUSSOMANO, V. H. **Planejamento e Controle da Produção.** 6. ed. Editora Thomson Pioneira, São Paulo, 2000.

SANCHEZ, Lidia. et al. **Survey dataset on reasons why companies decide to implement continuous improvement.** Journal data in brief. V. 26. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.104523>>. Acesso em 15 de Dezembro de 2020.

SELVIK, Jon Tommeras; STANLEY, Ian; ABRAHAMSEN, Eirik Bjorheim. Critérios SMART para avaliação da qualidade de indicadores-chave de desempenho usados na indústria de petróleo e gás. **International Journal of Performability Engineering**, v. 16, n. 7, 2020.

SEVERINO, Antonio J. **Metodologia do trabalho Científico**. 23. ed. - São Paulo: Cortez, 2007.

SHARMA. R. K.; KUMAR, D.; KUMAR, P. **Manufacturing Excellence Through TPM Implementation**: a practical analysis. *Industrial Management & Data Systems*. Vol. 106, n. 2, p.256-280, 2006.

SHINGO, S. **Sistema de produção com estoque zero**: o sistema Shingo para melhorias contínuas. Porto Alegre: Bookman, 1996.

SILVA, Daisy Paes. **Gap de integralidade das variáveis discretas para a resolução do problema de fluxo de potência ótimo reativo**. 2020.

SILVA, M. **Otimização dos Recursos em Armazém Aplicando a Filosofia Lean, dissertação de mestrado em Gestão e Engenharia Industrial**, Universidade de Aveiro, Aveiro. 2009.

SLACK, N.; CHAMBERS, S. & JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. 3. ed. Editora Atlas, São Paulo, 2009.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

SOLTANALI, Hamzeh et al. A comparative study of statistical and soft computing techniques for reliability prediction of automotive manufacturing. **Applied Soft Computing**, v. 98, p. 106738, 2021.

THIOLLENT, M. **Metodologia da Pesquisa-Ação**. 11. ed. São Paulo: Cortez, 2002.

TONDATO, R.; FOGLIATTO, F. S. **Manutenção Produtiva Total na Indústria de Processos Gráficos. XXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. Porto Alegre, RS – ABEPRO – PUCRS, 2005.

TUBINO, D. F. **Planejamento e Controle da Produção – Teoria e Prática**. 1. ed. Editora Atlas, São Paulo, 2007

VOLLMANN, T E.; BERRY, W. L.; WHYBARK, D. C. **Sistemas de Planejamento & Controle da Produção para o Gerenciamento da cadeia de Suprimentos**. 5. ed. São Paulo: Bookman, 2006.

VOSS, C. et al. Case Research in Operations Management.

VUKOVIC, Petar. et al. **Simulation software design as a potential solution to the increasing complexity of industrial communication networks**. Procedia CIRP. Volume 97, 2021, Page 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.07.002>

Wenz et al., 2017 Leonie Wenz , Anders Levermann , Maximilian Auffhammer **Polarização norte-sul do consumo de eletricidade na Europa sob aquecimento futuro** Proc. Nat. Acad. Sci. , 114 (38) (2017) , págs. E7910 - E7918

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **Lean thinking: banish waste and create wealth in your corporation**. London: Touchstone Books, 1996.

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

YIN, R. K. **Estudo de caso, planejamento e métodos**. 3 ed. Bookman, Porto Alegre, 2005.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. Trad. Daniel Grassi. – 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

ZABOT, J. B. M.; SILVA, L. C. M. **Gestão do Conhecimento: Construindo a Inteligência Coletiva**. Atlas, 2002.

ZHANG, Zikai. et al. Multi-manned assembly line balancing with time and space constraints: **A MILP model and memetic ant colony system**. Computers & Industrial Engineering, Volume 150. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106862>>. Acesso em Dezembro de 2020.