

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA  
UNIDADE DE PÓS-GRADUAÇÃO, EXTENSÃO E PESQUISA  
MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO E TECNOLOGIA EM  
SISTEMAS PRODUTIVOS

VANDERLEI TALLACH

TÍTULO: Construção de um sistema produtivo utilizando a técnica do DFMA

São Paulo

Abril/2023

VANDERLEI TALLACH

TÍTULO: Construção de um sistema produtivo utilizando a técnica do DFMA

Dissertação apresentada como exigência parcial para a obtenção do título de Mestre em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos do Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, no Programa de Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos, sob a orientação do Prof. Dr. Alexandre Formigoni.

São Paulo

Abril/2023

FICHA ELABORADA PELA BIBLIOTECA NELSON ALVES VIANA  
FATEC-SP / CPS CRB8-8390

T147c Tallach, Vanderlei  
Construção de um sistema produtivo utilizando a técnica do DFMA / Vanderlei Tallach. – São Paulo: CPS, 2023.  
75 p. : il.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Formigoni  
Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos) – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, 2023.

1. DFMA. 2. Gestão da produção e operações. 3. Melhoria contínua. 4. Projeto de processo. I. Formigoni, Alexandre. II. Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza. III. Título.

VANDERLEI TALLACH

TÍTULO: Construção de um sistema produtivo utilizando a técnica do DFMA

---

Prof. Dr. Alexandre Formigoni

Orientador – CEETEPS

---

Prof. Dr. João Gilberto Mendes dos Reis

Examinador Externo – UNIVERSIDADE PAULISTA - UNIP

---

Prof. Dr. Rosinei Batista Ribeiro

Examinador Interno - CEETEPS

São Paulo, 13 de abril de 2023

Dedico esta dissertação à minha esposa Leci  
Rosana de Lima Tallach, aos meus filhos  
Bruno de Lima Tallach e Felipe de Lima  
Tallach pelo apoio incondicional e incentivo,  
inclusive nos meus momentos de ausência para  
dedicação ao programa, para que este trabalho  
fosse concluído.

Aos meus pais Dilsa Magnani Tallach e José  
Tallach Filho (in memoriam) por sempre me  
conduzirem no caminho da educação.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente gostaria de agradecer ao meu orientador, Professor Doutor Alexandre Formigoni, pelo incentivo para meu ingresso no programa, por toda dedicação, paciência e empenho com que conduziu minha trajetória ao longo do curso, pelas aulas, seminários e artigos publicados.

Agradeço ao Professor Doutor João Roberto Maiellaro pela grandiosa ajuda, incentivo e demonstração de apoio nos momentos de incertezas. Agradeço também pela parceria e contribuições na elaboração dos artigos.

Igualmente gostaria de agradecer a toda equipe gestora do programa, pela condução e valorização do curso junto à comunidade científica. A todos os docentes que com maestria compartilharam seu conhecimento e experiência para meu crescimento acadêmico e profissional.

Agradecimento também a todos os funcionários da pós-graduação do Centro Paula Souza, em especial à Debora que sem me conhecer prestou valioso apoio nos seminários e nas questões administrativas.

Se não houver frutos, valeu a beleza das flores;  
Se não houver flores, valeu a sobre das folhas;  
se não houver folhas, valeu a intenção da  
semente.

(Henfil)

## RESUMO

TALLACH, V. **Construção de um sistema produtivo utilizando a técnica do DFMA.**75f. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Desenvolvimento da Educação Profissional). Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2023.

Com o aumento da competitividade no mercado nacional e internacional, as empresas necessitam de novas formas de agilizar seus processos e reduzir os custos industriais buscando por melhoria constante da produtividade. Com o surgimento da manufatura enxuta, muitas ferramentas foram desenvolvidas e colocadas à disposição dos pesquisadores e profissionais. Compreender o processo aliado ao domínio das ferramentas, proporciona melhores condições para elaborar um projeto de manufatura enxuta integrado ao projeto do produto, análise do processo de produção e desenvolvimento de um modelo de manufatura que proporcione a redução do tempo de reparo dos terminais, permitindo seu retorno aos clientes no menor prazo frente a concorrência. O objetivo geral desta pesquisa de abordagem quantitativa é projetar um processo de manufatura para terminais de pagamento para melhoria da produtividade e competitividade em um operador logístico por meio da técnica do *Design For Manufacturing And Assembly* – DFMA. Em relação a abordagem, este estudo trata-se de uma pesquisa quantitativa, quanto aos objetivos é classificado como uma pesquisa exploratória. Dentro da pesquisa exploratória foi utilizado o método da pesquisa-ação, com a coleta de informações e análise do relatório mensal de produção, extraído automaticamente do sistema *Enterprise Resource Planning* (ERP). Foi analisado todo o processo produtivo, incluindo as movimentações de componentes por meio das ferramentas *Design For Manufacturing and Assembly* (DFMA). A análise e interpretação dos dados obtidos possibilitou a elaboração de um projeto de manufatura enxuta compatível com os níveis de demanda e capacidade instalada, assegurando o cumprimento das demandas e redução gradativa dos atrasos, até sua completa eliminação após decorridos dois meses. Incorporado aos ganhos operacionais, destaca-se o aumento de 28% do índice de valor agregado ao processo e o aumento do volume mensal de produção de 50 mil unidades para 138 mil unidades, solidificando a capacidade produtiva da empresa perante o mercado.

**Palavras-chave:** DFMA; Gestão da Produção e Operações; Melhoria contínua; Projeto de processo

## ABSTRACT

TALLACH, V. **Construction of a production system using the DFMA technique**: 75f. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Desenvolvimento da Educação Profissional). Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2023.

With the increase in competitiveness in the national and international market, companies need new ways to make their processes faster and reduce industrial costs, seeking constant improvement in productivity. With the emergence of lean manufacturing, many tools were developed, becoming, in a short period of time, available to researchers and professionals. Understanding the process, combined with mastering the tools, provides better conditions for developing a lean manufacturing project integrated with the product design that provides a reduction in terminal repair time, allowing its return to customers in the shortest time compared to the competition. The present work aims to analyze scenarios for the elaboration of a payment method manufacturing project to obtain productivity and competitiveness in a logistics operator through the DFMA technique. Regarding the approach and the objectives, this study is quantitative, and it is classified as exploratory research. Within the exploratory work, the action-research method was used, with the collection of information and analysis of the monthly production report, automatically extracted from the Enterprise Resource Planning (ERP) system. The entire production process was analyzed, including the movement of components through the Design For Manufacturing and Assembly (DFMA). The analysis and interpretation of the data obtained enabled the elaboration of a lean manufacturing project compatible with the levels of demand and installed capacity, ensuring the fulfillment of demands and gradual reduction of delays, until their complete elimination after two months. Added to operating gains, the 28% increase in the value added to the process and the increase in the monthly production volume from 50,000 units to 138,000 units stand out, solidifying the company's production capacity in a marketplace.

**Keywords:** DFMA; Production and operations management; Continuous improvement; Process design.

**LISTA DE QUADROS**

Quadro 1:	Tolerâncias.....	28
Quadro 2:	Tolerâncias selecionadas.....	46
Quadro 3:	Cronoanálise .....	47
Quadro 4:	Análise de Capacidade e Demanda.....	48
Quadro 5:	Performance analisada na simulação .....	58

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1:	Evolução dos indicadores .....	49
Tabela 2:	Volume de produção diária.....	54
Tabela 3:	Percentuais de carga residual .....	56
Tabela 4:	Tempo mínimo de carregamento por percentual de faixa .....	56
Tabela 5:	Recargas por turno de trabalho .....	57
Tabela 6:	Carregadores por faixa de carga nos cenários simulados .....	57
Tabela 7:	Resultados da simulação .....	58
Tabela 8:	Carregadores alocados versus ocupados .....	60
Tabela 9:	Lista de materiais .....	68

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Tipos de Produção Técnica.....	18
Figura 2:	Estrutura do DFMA para processo do projeto.....	21
Figura 3:	Modelo de mapeamento do processo.....	22
Figura 4:	Símbolo do fluxo de processos.....	26
Figura 5:	Fluxograma da metodologia da pesquisa.....	35
Figura 6:	Roteiro de trabalho.....	37
Figura 7:	Sequência das atividades desenvolvidas no projeto.....	39
Figura 8:	Sequência produtiva.....	40
Figura 9:	Mapeamento do processo.....	44
Figura 10:	Índice de aproveitamento antes.....	45
Figura 11:	Índice de aproveitamento depois.....	45
Figura 12:	Evolução do OEE.....	50
Figura 13:	OEE dez./22.....	50
Figura 14:	OEE jan./23.....	51
Figura 15:	OEE fev./23.....	51
Figura 16:	Balanceamento da produção antes.....	53
Figura 17:	Balanceamento da produção depois.....	53
Figura 18:	Tempo de recarga versus carga da bateria.....	55
Figura 19:	Arranjo físico antes.....	61
Figura 20:	Arranjo físico depois.....	62
Figura 21:	Quantidade de operadores.....	62
Figura 22:	Comparativo de operadores.....	63
Figura 23:	Quantidade de operações por equipamento.....	64
Figura 24:	Comparativo de operações.....	64
Figura 25:	Comparativo da demanda mensal.....	65
Figura 26:	Sequência das atividades desenvolvidas na pesquisa.....	66
Figura 27:	Sequência das atividades para o projeto da linha de produção.....	66
Figura 28:	Posto de trabalho.....	68
Figura 29:	Detalhe da esteira.....	69
Figura 30:	Detalhe da linha de produção.....	69

## LISTA DE SIGLAS

CAD	<i>Computer Aided Design</i>
DFA	<i>Design For Assembly</i>
DFM	<i>Design For Manufacturing</i>
DFMA	<i>Design For Manufacturing And Assembly</i>
DFX	<i>Design For Excellence</i>
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i>
PCP	Planejamento e Controle da Produção
PMP	Plano Mestre da Produção
RCCP	<i>Rough-cut Capacity Planning</i>
SLA	<i>Service Level Agreement</i>
VA	Valor Agregado
VNA	Valor Não Agregado
VSM	<i>Value Stream Mapping</i>

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	16
<b>1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	19
1.1 Projeto para Montagem ( <i>Design for Assembly</i> ) .....	19
1.2 Projeto para Produção ( <i>Design for Manufacturing</i> ) .....	19
1.3 Projeto para Produção e Montagem ( <i>Design for Manufacturing and Assembly</i> ) .....	20
1.4 Mapeamento do Fluxo de Valor ( <i>Value Stream Mapping</i> ) .....	22
1.5 Arranjo físico .....	23
1.5.1 <i>Princípios de arranjo físico</i> .....	23
1.5.2 <i>Objetivos do arranjo físico</i> .....	24
1.6 Tempos e métodos .....	25
1.6.1 <i>Obter e registrar as informações sobre a operação e operador</i> .....	26
1.6.2 <i>Divisão da operação</i> .....	26
1.6.3 <i>Registro do tempo</i> .....	26
1.6.4 <i>Determinação do número de ciclos a serem cronometrados</i> .....	27
1.6.5 <i>Avaliação do ritmo do operador</i> .....	27
1.6.6 <i>Determinação do tempo normal</i> .....	27
1.6.7 <i>Determinação das tolerâncias</i> .....	28
1.6.8 <i>Determinação do tempo padrão</i> .....	29
1.7 Eficiência Global dos Equipamentos ( <i>Overall Equipment Effectiveness</i> ) .....	29
1.8 Cálculo da capacidade versus demanda .....	30
1.8.1 <i>Eficiência dos recursos</i> .....	30
1.9 Meios de pagamento .....	31
1.9.1 <i>Pagamentos móveis</i> .....	32
1.10 Simulação .....	33
<b>2 METODOLOGIA</b> .....	34
2.1 Tipos de pesquisa .....	35
2.1.1 <i>Fundamentação teórica</i> .....	35
2.1.2 <i>Tipos de pesquisa quanto aos objetivos</i> .....	37
2.1.3 <i>Tipos de pesquisa quanto aos procedimentos metodológicos</i> .....	38
2.2 Revisão de literatura .....	38
2.3 Diagnóstico inicial .....	39
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	42
3.1 Instrumentos de coleta de dados .....	42

3.2 Método para apuração dos resultados e indicadores .....	42
3.3 Resultado e análise do mapeamento de processo VSM .....	43
3.3.1 Cálculo do índice de aproveitamento antes .....	44
3.3.2 Cálculo do índice de aproveitamento depois .....	44
3.4 Estudo de tempos e movimentos .....	46
3.4.1 Análise de tempos e movimentos .....	46
3.4.2 Análise de capacidade e demanda.....	47
3.4.3 Análise de OEE.....	48
3.5 Balanceamento da produção .....	51
3.5.1 Cálculo do takt time antes .....	51
3.5.2 Cálculo do takt time depois .....	51
3.5.3 Análise do processo para recarga de baterias .....	53
3.5.4 Uso da simulação .....	56
3.5.5 Artefato criado.....	59
3.6 Estudo do arranjo físico.....	60
3.7 Número de operadores.....	61
3.8 Número de operações .....	62
3.9 Volume de produção.....	63
3.10 Implementação do DFMA .....	64
3.10.1 Elaboração do projeto da linha de produção .....	65
<b>CONCLUSÃO</b> .....	68
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	70
<b>APÊNDICES</b> .....	74

## INTRODUÇÃO

A análise de viabilidade de um produto é uma das etapas cruciais do processo de projeto. Para garantir que o produto possa ser produzido de forma eficiente e rentável, muitos projetistas e engenheiros recorrem à metodologia DFMA (*Design For Manufacturing and Assembly*), ou “Projeto para Fabricação e Montagem”.

O DFMA é uma abordagem sistemática que busca minimizar o número de peças e simplificar o processo de montagem e reduzir os custos de fabricação. Ele envolve a análise detalhada do projeto do produto, com o objetivo de identificar oportunidades para simplificar a fabricação e montagem. O DFMA também pode ajudar a minimizar os erros de projeto, uma vez que a equipe de produção pode revisar e fazer sugestões para torná-lo mais fácil de fabricar e montar.

No contexto da produção de terminais de pagamento, O DFMA pode ser aplicado para simplificar o processo de fabricação e montagem através da redução do número de componentes permitindo que os engenheiros possam reduzir os custos aumentando a eficiência do processo.

Se o desenvolvimento do produto não considerar ferramentas básicas como o DFMA, análise de risco etc., há grande possibilidade de falhas de campo ocorrerem, desperdício de tempo e material durante a produção do equipamento. Estes detalhes podem se tornar um grande diferencial na linha de montagem do produto. As novas tecnologias devem estar adaptadas às pessoas e ao processo. É importante dedicar esforços para que as novas tecnologias venham melhorar os processos já implementados, padronizar os métodos e organizar os times de trabalho para constante evolução quanto a inovação e desenvolvimento de produto. Torna-se necessário estabelecer o que realmente agrega valor ao produto para o cliente de forma a separar o que seja desperdício.

Observando o processo produtivo da empresa estudada, foi diagnosticado que a capacidade produtiva da operação era insuficiente em relação a demanda, havia excesso de materiais e componentes ao longo da linha produtiva e não havia um fluxo contínuo da operação. Estes fatores eram os principais ofensores dos atrasos na entrega ou o não cumprimento do volume mensal demandado. Diante deste cenário, percebeu-se a necessidade de rever o processo produtivo e propor soluções plausíveis para reverter a situação perante o cliente aumentando o volume produzido e reduzindo a mão de obra simultaneamente.

A condução desta pesquisa justifica-se pela importância de maior compreensão do processo de produção e desenvolvimento de um modelo de manufatura que proporcione a

redução do tempo de reparo dos terminais, permitindo seu retorno aos clientes no menor prazo frente a concorrência. O projeto de pesquisa foi desenvolvido entre os meses de agosto de 2020 até dezembro de 2022, ressaltando que o acompanhamento deverá ser constante para a melhoria contínua do processo. O resultado desta pesquisa é a elaboração de um processo produtivo competitivo, desenvolvendo produtos correlatos.

### **Questão de Pesquisa**

Com os dados analisados é possível levantar o seguinte problema de pesquisa: Quais resultados podem ser obtidos com a aplicação do DFMA em um processo de remanufatura de meios de pagamento?

### **Objetivo Geral**

A principal motivação desta pesquisa de abordagem quantitativa é projetar um processo de manufatura para terminais de pagamento e melhoria da produtividade e competitividade em um operador logístico por meio da técnica do DFMA.

### **Objetivos Específicos**

- i. Avaliar o processo atual com uso do (*Value Stream Mapping* - VSM);
- ii. Aplicar ferramentas para aumento da produtividade;

Conforme Produção Técnica CAPES elaborada em 2019, esse projeto de pesquisa está classificado no Eixo principal 1 (Produtos e Processos), Produto15 (Processo/Tecnologia não patenteável) apresentado na figura 1.

Figura 1 – Tipos de Produção Técnica

Eixos principais	Produções Técnicas (2016)
<p><b>EDIO 1 – Produtos e Processos:</b> caracteriza-se pelo desenvolvimento de produto técnico ou tecnológico, passível ou não de proteção, podendo gerar ativos de propriedade industrial/ propriedade intelectual.</p> 	1. Base de dados técnico-científica
	2. Carta, mapa ou similar
	3. Cultivar
	4. Curadoria de coleções biológicas
	5. Declaração de impacto de produção técnica ou tecnológica
	6. Declaração de interesse do setor empresarial em produção sob sigilo
	7. Desenho industrial
	8. Desenvolvimento de material didático e instrucional
	9. Desenvolvimento de processo patenteável
	10. Desenvolvimento de produto patenteável
	11. Desenvolvimento de Tecnologia social
	12. Indicação geográfica
	13. Manual de operação técnica
	14. Marca
	15. Processo/Tecnologia não patenteável
	16. Processos de gestão
	17. Produção de acervos
	18. Software (Programa de computador)
	19. Protocolo tecnológico experimental/aplicação ou adequação tecnológica (ex. PCP)
	20. Topografia de circuito integrado

Fonte: Produção Técnica CAPES (2019)

## **1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **1.1 *Design for assembly* (Projeto para montagem)**

A ferramenta DFA é um método para aperfeiçoamento de projetos para uma montagem simples e de custo mínimo, objetivo deste método é tornar o processo mais simples e reduzir o custo total além do tempo gasto para montagem (TODIC, VUKMAN, 2012).

A simplicidade do processo de montagem não depende unicamente do item e suas características, mas depende do processo de abastecimento de materiais, manuseio e procedimento de montagem (BOOTHROYD, 1994).

O DFA proporciona aos engenheiros de projeto, conhecimento sobre questões de montagem, permitindo antecipação e melhoria junto ao projeto (KRUMENAUER, MATAYOSHI, FILHO e BATALHA, 2008).

O DFA também é uma espécie de visão de mundo do desenho como qual o especialista utiliza uma vasta gama de estratégias como analisar, estimar, organizar e reproduzir para considerar cada um dos elementos que vai influenciar o procedimento de montagem durante toda a fase de desenho, a fim de que se reduza significativamente as despesas (DRISCOLL, 2002).

Em um estudo de DFA, critérios como reduzir e aperfeiçoar a montagem e classificação de peças, eliminar a necessidade de modificações, projetar peças que sejam de fácil localização e ajustes, garantir simplicidade e segurança no manuseio e montagem dos componentes, minimizar a quantidade de instrumentos para montagem, devem ser considerados.

As vantagens diretas representam diminuição dos custos fixos e variáveis de montagem, sendo elas manuais ou não. Um item projetado utilizando os princípios de DFA demandam necessidade de menos máquinas, especialistas para montagem e reduz as dificuldades das atividades de montagem.

Vantagens indiretas são a simplificação do controle de estoque, aumento da confiabilidade do item reduzindo o tempo de garantia e custos de manutenção (KRUMENAUER, MATAYOSHI, FILHO e BATALHA, 2008).

### **1.2 *Design for manufacturing* (Projeto para fabricação)**

O método DFM trata do conhecimento sobre como os dados do processo se conectam com modelos minimizados olhando para as restrições ligadas a manufatura no período inicial do projeto. Em relação as vantagens essenciais da utilização do DFM são melhorar a qualidade do projeto, redução de despesas e planejamento otimizado de mudanças. Aprimorar o tempo de criação juntamente com projeto, inovação, montagem e utilidade e reduzir despesas de custo

com alta tecnologia, manutenção e montagem, são considerados como objetivos principais do método.

A utilização de práticas do DFM, ilustrou a forma ordenada e efetiva de execução do método em situações de fabricação (DRISCOLL, 2002). Projetistas têm de considerar a capacidade de fabricação para atender os objetivos de simplificar o processo de fabricação e alinhar o projeto com o procedimento para obter resultados ideais (BOOTHROYD, 1994)

Para execução do DFM regras como reduzir quantidade e variedade de componentes, utilizar componentes intercambiáveis, projetar para facilitar a fabricação, e projetar componentes que tenham diferentes funções, são fundamentais para o sucesso.

### **1.3 Design for manufacturing and assembly (Projeto para fabricação e montagem)**

A palavra DFMA origina da combinação de DFM e DFA, que combinam dois fatores fundamentais no desenho do item mantendo a utilidade e aprimorar o procedimento de design de um determinado produto, “*Manufacturing*” deve ser entendido como a operação de fabricar um componente individual, já o “*Assembly*” é a simples montagem de mais de um componente formando o produto. É uma ferramenta para uso na criação do conceito, sua aprovação e melhoria contínua do produto. O objetivo da ferramenta é estabelecer quais são as necessidades da manufatura, montagem, qualidade e ciclo de vida do produto durante a fase de desenvolvimento do produto (BOOTHROYD, 2010).

Para Huang (2014) o DFMA é uma abordagem que as empresas utilizam para criar seus produtos com simplicidade e com o menor número de componentes possíveis facilitando a fabricação e a montagem. Esse método não é um sistema de desenho, no entanto ajuda muito na tomada de decisões nos passos iniciais de um projeto e ainda ajuda a quantificá-lo. É utilizado como apoio para melhorar o conceito de um produto ou projeto já existente. O DFMA, é uma abordagem que faz parte de um conceito maior, o DFX, conceito este que pode auxiliar no desenvolvimento de produtos com baixo custo, fácil manufatura e baixo ciclo de vida.

Para ser competitivo, um produto precisa ser desenvolvido com o menor tempo possível, menor custo, integrando: projeto, manufatura e qualidade. A análise de custo de DFM é realizada nas peças individuais para definir uma linha de base de custo de desenho do produto e a análise de DFA para identificar os candidatos a eliminação (TODIC, VUKMAN, 2012).

Uma visão geral do procedimento para análise do DFMA é identificar o produto no qual a análise será realizada. Após a seleção, o produto é individualmente desmontado, as peças são modeladas em software CAD.

Sempre que possível, o DFM e o DFA, devem ser usados simultaneamente, visando reduzir a complexidade e o número de peças tanto na fabricação de componentes como na montagem do produto.

A criação de um design incorreto ou ineficiente incorpora ao produto numerosos custos adicionais na manufatura e montagem do produto (BOOTHROYD, DEWHURST e KNIGHT, 2011; NAIJU, WARRIER e JAYAKRISHNAN, 2017).

O DFMA deve ser aplicado com maior ênfase nas fases iniciais de concepção do projeto, pois além de reforçarem os baixos custos nesta fase, assegurar que nesses momentos é possível reduzir o tempo de projeto disponibilizando rapidamente o produto para o cliente, além do que, com o produto já desenvolvido torna-se muito difícil a implementação da metodologia, aumentando significativamente a demanda de trabalho e por consequência, os custos (BOOTHROYD, DEWHURST e KNIGHT, 2011). Atualmente as empresas devem oferecer uma grande variedade de produtos, com baixo custo e um curto ciclo de vida. Existem várias formas de se atingir estes objetivos, principalmente redução de custos. Segundo More *et al* (2015), a maioria das companhias utilizam ferramentas tradicionais de corte de custos, no entanto, o custo é determinado no período de projeto e design.

A Figura (2) apresenta uma comparação entre os processos de desenvolvimento de produtos sem aplicação do DFMA e outro com aplicação do método sugerido por (More *et al.*, 2015).

Figura 2 – Estrutura do DFMA para processo do produto



Fonte: More *et al* (2015)

#### 1.4 Value stream mapping (Mapeamento do Fluxo de Valor)

Mapeamento do fluxo de valor, *Value Stream Mapping* (VSM) é uma ferramenta eficaz

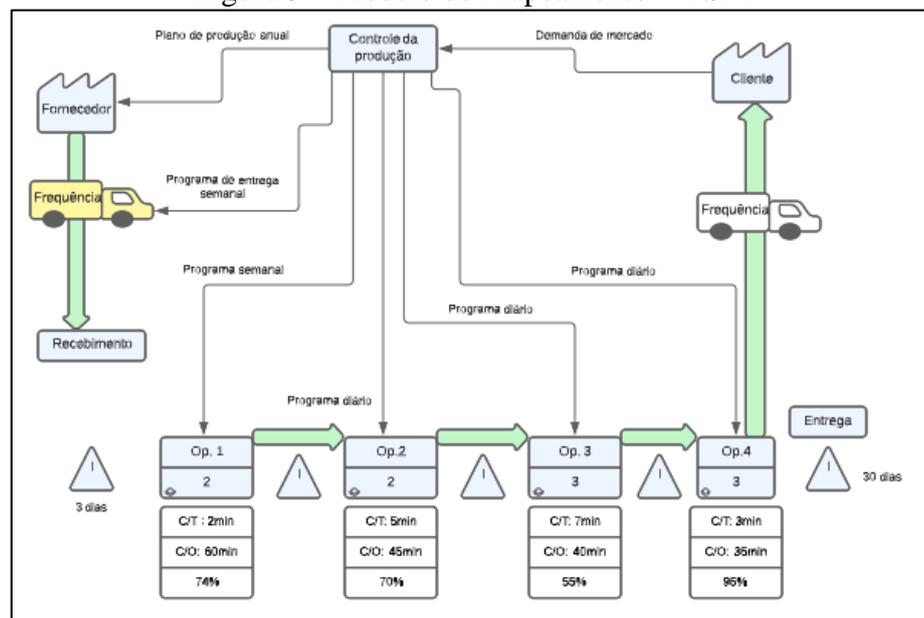
por suas características em mapear todo o fluxo do processo e seu valor agregado, e identificar as etapas que não agregam valor na fabricação de um produto ou serviço, do fornecedor ao cliente (JIN, DOOLEN, 2014).

O VSM mostra como cada processo é, com o momento de proceder as necessidades do cliente do próximo processo, com todos os movimentos de materiais e informação. As fontes de perdas são identificadas e no planejamento do estado futuro são eliminadas, considerando toda a cadeia de valor e não apenas os processos individuais locais (LIBRELATO *et al.* 2014).

Em qualquer indústria de transformação, as operações podem ser classificadas em três gêneros principais: atividades que não agregam valor (ANVN), mas necessárias; atividades que não agregam valor, mas desnecessárias (ANVD) e as que agregam valor (AV).

As atividades (ANVD) não agregam valor ao cliente e nem à empresa, se constituem como desperdício e precisam ser erradicadas (manuseio desnecessário, reprocesso, tempo de espera etc.). Para apresentação dos processos de produção de forma esquemática, são utilizados símbolos que representam produtos, operações e fluxos de informação (JASTI, SHARMA, 2014). Partindo da análise do mapeamento do estado atual elabora-se um novo desenho de processo com o mapa do fluxo de valor projetando o estado futuro (SETH; SETH; DHARIWAL, 2017). A figura 3 apresenta um modelo de mapeamento indicando as principais etapas do processo.

Figura 3 – Modelo de Mapeamento – VSM



Fonte: Adaptado de x-rite, 2022

## 1.5 Arranjo físico

A definição de um arranjo físico baseia-se na estruturação física dos componentes ou recursos produtivos no chão de fábrica utilizados na produção de um bem ou serviço por meio de máquinas, dispositivos, instalações e mão de obra. Todavia, na proposta de um arranjo físico, a macro análise da organização torna-se essencial a adequada instalação do mesmo de forma a gerar resultados satisfatórios (CHIN, 2010).

Diversas razões podem motivar a melhoria do arranjo físico em plantas industriais como, necessidade de expansão da capacidade produtiva, introdução de nova linha de produtos, segurança, economia de movimentos ou melhoria do ambiente de trabalho.

Alguns viabilizam a flexibilidade tornando possível a mudança sempre que necessário, outros possibilitam a verticalização otimizando a ocupação do espaço, comunicação visual sinalizando o fluxo de circulação, ergonomia proporcionando conforto para o funcionário e acessibilidade para atividades de manutenção e limpeza.

O Sistema Toyota de Produção, mundialmente reconhecido como produção enxuta adotado pela fabricante de veículos Toyota, constatou a necessidade de reorganizar o modelo de produção, baseando essencialmente em um princípio: eliminar desperdícios (CORRÊA E CORRÊA, 2007).

Os arranjos são classificados por produto quando é projetado por linha de montagem, por tipo de processo ou funções similares, por células quando se agrupam atividades similares e *layout* fixo (SLACK, CHAMBERS E JOHNSTON, 2009).

As decisões sobre o tipo de arranjo a ser desenvolvido são tomadas em níveis estratégicos, sobretudo se resultar em grandes investimentos. Outrossim, se o *layout* não for bem projetado, pode gerar impactos negativos para a empresa e para o processo produtivo requerendo ações cautelosas pela alta direção (MAYNARD, 1970; MARTINS, LAUGENI, 1998; CORRÊA, CORRÊA, 2012 E SLACK, CHAMBERS E JOHNSTON, 2009).

### 1.5.1 Princípios de arranjo físico

A determinação dos espaços destinados ao trabalho tem por objetivo definir um arranjo espacial que tenha significativo desempenho aliado ao custo, flexibilidade, segurança, condições de trabalho e controle, além da qualidade para o processo produtivo. Dessa forma, necessita-se seguir os consecutivos princípios (CAMAROTTO, 2016).

- a- Princípio da integração: A interconexão dos elementos que envolvem a produção necessita estar uniformemente integrados, uma vez que a ocorrência de falha resultará numa incapacidade produtiva global.
- b- Princípio da mínima distância: O valor agregado do transporte ao produto é nulo. Desta forma, é primordial que as distâncias sejam reduzidas ao mínimo evitando gasto de recursos bem como custos elevados.
- c- Princípio da obediência ao fluxo das operações: Os recursos de uma forma geral como materiais, equipamentos, pessoas, precisam estar dispostos e movimentar-se em fluxo contínuo conforme a sequência produtiva, evitando cruzamentos, retorno e interrupções.
- d- Princípio do uso das três dimensões: Em um arranjo físico abrangente, o espaço utilizado não se limita somente em um plano, refere-se ao volume necessitando ser projetado contemplando as três dimensões.
- e- Princípio da satisfação e segurança: Um arranjo físico deve assegurar credibilidade aos usuários por meio da satisfação e segurança. O ambiente precisa oferecer condições de trabalho adequado com o menor risco possível de acidente.
- f- Princípio da flexibilidade: A flexibilidade apresenta-se como um dos princípios mais significativos, visto com frequência a sua alta variabilidade de demanda e produção, exigindo que o arranjo permita atender com rapidez as adequações.

### *1.5.2 Objetivos do arranjo físico*

Um bom arranjo físico pode alcançar os seguintes objetivos segundo (BORBA, 1998):

- a- Melhor aproveitamento do espaço disponível reduzindo a quantidade de material em processo, distâncias de movimentação de materiais e pessoas justificando a disposição dos setores e ativos;
- b- Aumentar a satisfação e moral no trabalho, proporcionando um ambiente mais limpo;
- c- Alavancar a produção por meio da racionalização do fluxo;
- d- Reduzir o manuseio desenvolvendo um processo produtivo enxuto;
- e- Controlar o tempo de manufatura diminuindo esperas e distâncias;

## 1.6 Tempos e métodos

A humanidade, desde as suas origens nos tempos mais remotos, vem sendo acompanhada pela função produção, que pode ser entendida como um conjunto de atividades que levam a transformação de um bem tangível em outro com maior utilidade (MARTINS, LAUGENI, 2015)

No início a força humana foi substituída pelas máquinas a vapor e os artesãos começaram a realizar seus trabalhos nas primeiras fábricas. Houve uma revolução nos produtos e seus processos de fabricação, criaram-se os primeiros indicadores, técnicas de PCP, planejamento e controle financeiro e desenvolvimento de técnicas de vendas (MARTINS; LAUGENI, 2005).

Segundo Slack e Johnston (2013), a agilidade na tomada de decisões na movimentação de materiais e comunicação interna da operação é muito importante proporcionando benefícios como redução de estoques, redução de riscos e auxiliar a rapidez na resposta aos clientes externos. Em contrapartida, o desperdício ou o uso inadequado do tempo pode se transformar em custos extras durante a operação.

O estudo de tempos consiste em uma técnica de medição do trabalho muito utilizada para fins registro dos tempos e andamento do trabalho para elementos de determinada tarefa, geralmente realizada em condições pré-determinadas, os dados obtidos são analisados para se obter o tempo que é necessário para a realização do trabalho e definir seu nível de desempenho (SLACK E JOHNSTON, 2013).

Amostragem do trabalho é uma técnica que permite estimar a porcentagem de tempo que um trabalhador ou uma máquina utiliza em cada atividade, não é necessário a observação contínua nem cronometrar a atividade, por L.H.C Tippet, na indústria têxtil inglesa. Em 1940, nos EUA, foi implantada com o nome de relação de esperas, seu uso ganhou mais popularidade a partir de 1950. Com a execução do estudo de tempos torna-se possível determinar o tempo que uma pessoa adaptada ao trabalho e completamente treinada no método específico levará para executar certa tarefa em um ritmo considerado normal. Este tempo é denominado de tempo padrão para a operação (BARNES, 1977).

Barnes (1977) determina sete etapas para a realização da cronoanálise, descritas a seguir:

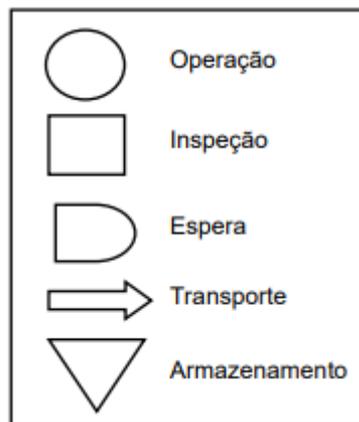
- i. Obter e registrar as informações sobre a operação e o operador em estudo;
- ii. Dividir a operação em elementos;
- iii. Observar e registrar o tempo gasto pelo operador;
- iv. Determinar o número de ciclos a serem cronometrados;

- v. Avaliar o ritmo do operador;
- vi. Determinar o tempo normal;
- vii. Determinar as tolerâncias;
- viii. Determinar o tempo-padrão para a operação.

### 1.6.1 Obter e registrar as informações sobre a operação e operador

Nesse passo, é importante fazer um gráfico de fluxo de processos para melhor visualização da atividade Barnes (1977) afirma que tal gráfico é uma técnica para se registrar um processo de maneira compacta, com o objetivo de facilitar a compreensão e uma posterior melhoria do processo.

Figura 4- Símbolos de fluxo de processo



Fonte: Barnes, 1977

### 1.6.2 Divisão da operação

Para efetuar essa divisão, Costa Júnior (2008) aconselha a separação dos conjuntos de movimentos em pequenos subgrupos, realizando a cronoanálise, com tempos definidos por atividade. Este é um passo muito importante, pois a partir dele pode-se determinar o tempo gasto para cada elemento, identificar os movimentos desnecessários existentes no processo e, a partir daí, verificar qual movimento está exercendo maior impacto na operação

### 1.6.3 Registro do tempo

Segundo Barnes (1977), todas as informações que devem ser incluídas no cabeçalho da folha de observações têm de ser registradas de forma cuidadosa, porque senão, o estudo não terá valor algum como registro ou fonte de informação para futuras consultas, já que o analista certamente terá esquecido as circunstâncias que cercavam a operação.

#### 1.6.4 Determinação do número de ciclos a serem cronometrados

Existem diferentes métodos para a determinação do número de ciclos a serem cronometrados. No entanto, de acordo com Martins e Laugeni (2005), uma das maneiras para a determinação do número de cronometragens a serem realizados (N) é obtido pela equação:

$$N = \left( \frac{Z \cdot R}{E_r \cdot D_2 \cdot \bar{X}} \right)^2$$

Onde:

N = número de ciclos a serem cronometrados;

Z = coeficiente de distribuição normal para uma probabilidade determinada;

R = amplitude da amostra;

$E_r$  = erro relativo da medida;

$D_2$  = coeficiente em função do número de cronometragens realizadas preliminarmente;

$\bar{X}$  = média dos valores das observações.

Martins e Laugeni (2005) também afirmam que na prática, para determinar o tempo padrão de uma peça ou de uma operação devem ser realizadas entre 10 e 20 cronometragens. No estudo em questão foram realizadas 10 observações, visto que a atividade escolhida para análise era não padronizada.

#### 1.6.5 Avaliação do ritmo do operador

Para Slack, Chambers e Johnston (2009) a avaliação do ritmo dos tempos é um método de análise da velocidade de trabalho realizada pelo operador, considerando um desempenho padrão. O observador leva em consideração um ou mais fatores considerados importantes na realização da tarefa, como a velocidade de movimento, esforço e destreza.

#### 1.6.6 Determinação do tempo normal

De acordo com Slack (2002, *apud* Peinado e Graeml, 2007) o tempo normal é o processo de análise da velocidade com que o operador realiza suas atividades com desempenho padrão. Com os dados obtidos no estudo de tempo é determinado o tempo normal (TN) das atividades. Este se refere à média ( $\bar{X}$ ) dos tempos cronometrados multiplicado pelo fator de ritmo (F) em percentual.

$$TN = \bar{X}.F$$

### 1.6.7 Determinação das tolerâncias

Segundo Barnes (1977) o tempo normal para uma operação não contém tolerância. Simplesmente é o tempo necessário para que um operador qualificado execute a operação trabalhando em ritmo normal. Entretanto não é de se esperar que uma pessoa trabalhe o dia inteiro sem algumas interrupções; o operador pode despender o seu tempo em necessidades pessoais, descansando ou por motivos fora de seu controle (BARNES, 1977, p.313).

Também de acordo com Barnes (1977), as tolerâncias podem ser classificadas em: tolerância pessoal; tolerância para a fadiga ou tolerância de espera. O tempo-padrão deve conter a duração de todos os elementos da operação e, além disso, deve incluir o tempo para todas as tolerâncias necessárias. Desta forma, o tempo-padrão é igual ao tempo normal mais as tolerâncias Stevenson (2001 *apud* Peinado e Graeml, 2007). O quadro 1 apresenta os percentuais que podem ser adotados para definição da tolerância.

Quadro 1- Tolerâncias e percentuais para fadiga

DESCRIÇÃO	%	DESCRIÇÃO	%
<b>A. Tolerâncias Invariáveis</b>		4. Iluminação deficiente:	
1. Tolerâncias para necessidades pessoais	5	a. ligeiramente abaixo do recomendado	0
2. Tolerâncias básicas para fadiga	4	b. bem abaixo do recomendado	2
<b>B. Tolerâncias Variáveis</b>		c. muito inadequada	5
1. Tolerância para ficar em pé	2	5. Condições atmosféricas	0-10
2. Tolerância quanto à postura		(calor-umidade) - variáveis	
a. ligeiramente desajeitada	0	6. Atenção cuidadosa	
b. desajeitada (recurvada)	2	a. trabalho razoavelmente fino	0
c. muito desajeitada (deitada, esticada)	5	b. trabalho fino ou de precisão	2
3. Uso de força ou energia muscular (erguer, puxar ou levantar)		c. trabalho fino ou de grande precisão	5
2.5	0	7. Nível de ruído:	
5.0	2	a. contínuo	0
7.5	2	b. intermitente - volume alto	2
10.0	3	c. intermitente - volume muito alto	5
12.5	4	d. timbre elevado - volume alto	5
15.0	5	8. Estresse mental	
17.5	7	a. processo razoavelmente complexo	1
20.0	9	b. processo complexo, atenção abrangente	4
22.5	11	c. processo muito complexo	8
25.0	13	9. Monotonia:	
27.5	17	a. baixa	0
30.0	22	b. média	7
		c. elevada	4
		10. Grau de tédio	
		a. um tanto tedioso	0
		b. tedioso	2
		c. muito tedioso	5

Fonte: Stevenson *apud* Peinado e Graeml, 2001.

### 1.6.8 Determinação do tempo padrão

Para Slack, Chambers e Johnston (2009) o tempo-padrão para cada elemento consiste principalmente em duas partes, o tempo básico ou normal (tempo levado por um trabalhador qualificado, que faz um trabalho especificado com desempenho padrão) e tolerâncias (concessões somadas ao tempo normal para permitir descanso, relaxamento e necessidades pessoais), obtido pela fórmula abaixo:

$$TP = TN + TL$$

Onde:

TP = Tempo Padrão;

TN = Tempo Normal;

TL = Tolerâncias

### 1.7 Overall Equipment Effectiveness (Eficiência Global dos Equipamentos)

O OEE é obtido pelos índices de *disponibilidade*, *performance* e *qualidade*, conforme especificado por Ribeiro, Paes e Kliemann Neto (2010), Plentz (2013) e Rodrigues, Ferrarin e Olesko (2013). O índice de disponibilidade representa a capacidade de um equipamento executar suas funções em dado instante ou intervalo de tempo, considerando que os recursos necessários estejam disponíveis. Este índice apura a relação entre o tempo efetivo em que o equipamento esteve produzindo e o tempo total disponível para a produção, é a relação da capacidade utilizada com a capacidade disponível.

$$I_D(\%) = \frac{TO-PP-PNP}{TO-PP} \times 100$$

Onde:

TO = Tempo de operação (tempo de operação considerando a quantidade de dias multiplicados pela quantidade de turnos e multiplicados pela quantidade de minutos de cada turno);

PP = Paradas programadas (tempo das paradas previstas em calendário produtivo como: refeições, manutenção preventiva etc.);

PNP = Paradas não programadas (tempo das paradas por imprevisto como: quebra de equipamento, falta de material etc.).

O índice de performance indica o desempenho da produção de um recurso. Este índice verifica a relação entre a quantidade real produzida com a quantidade teórica, obtido pela seguinte fórmula:

$$I_P(\%) = \frac{TO-PP-PNP-PE}{TO-PP-PNP} \times 100$$

Onde:

PE = Perdas de eficiência (tempo de paradas e com perdas por variação de ritmo).

O índice de qualidade apresenta a fabricação de produtos com defeitos que resultarão em retrabalhos ou refugos; indica a quantidade de produtos fabricados sem defeitos, em relação ao total fabricado, calculado pela equação:

$$I_Q(\%) = \frac{TO-PP-PNP-PE-PQ}{TO-PP-PNP-PE} \times 100$$

## 1.8 Cálculo da Capacidade versus Demanda

O RCCP (*Rough-cut Capacity Planning*) é uma ferramenta do MRP utilizada para verificar o desempenho da capacidade após o processamento do MRP; o RCCP faz uso de uma lista de recursos para cada item final no PMP (Plano Mestre da Produção). A lista de recursos gera como resultado o número de horas necessárias para cada recurso crítico produzir certo item final.

As lógicas adotadas para a determinação da capacidade nas empresas têm pouco rigor científico, porque não consideram as reais eficiências dos equipamentos (ANTUNES *et al.* 2008). Com o objetivo de solucionar este problema Antunes *et al.* (2008) propõe um modelo conceitual, para análise de C x D para determinação de gargalos e potenciais.

### 1.8.1 Eficiência dos recursos

Segundo Antunes *et al.* (2008), a capacidade, em unidades de tempo de um dado recurso pode ser determinado pela equação:

$$C = T_t \times \mu_g$$

Onde:

C = Capacidade do equipamento (tempo);

$T_t$  = Tempo total disponível para produção (tempo);

$\mu_g$  = Índice de rendimento operacional global do equipamento (adimensional).

A demanda, em unidades de tempo de um dado recurso pode ser calculada pela equação:

$$D = \sum_{i=1}^N tp_i \times q_i$$

Onde:

D = Demanda de produtos no equipamento (tempo);

$tp_i$  = Taxa de processamento da peça i no equipamento (tempo por unidades de produção);

$q_i$  = Quantidade produzida da peça i no equipamento (unidades de produção).

Igualando-se a Capacidade e a Demanda é possível calcular o índice de rendimento operacional do equipamento (Antunes *et al*, 2008).

$$\mu_g = \frac{\sum_{i=1}^N tp_i \times q_i}{T_t}$$

### 1.9 Meios de Pagamento

Ultimamente a inovação tecnológica vem transformando os serviços financeiros globalmente. Nota-se uma introdução a novos meios de pagamentos, plataformas e diversos projetos em curso (PETRALIA, 2019). Em 2024, segundo projeções, o dinheiro deve perder representatividade, ao passo que os volumes transacionados por cartões e carteiras digitais cresce (WORLDPAY, 2021).

O uso de meios eletrônicos de pagamento vem se modificando no Brasil e no mundo, com tendência de crescimento desde o início do século XXI e tem importância ainda maior nas compras remotas, auxiliando no desenvolvimento desse setor econômico (LEÃO, SOTTO, 2019).

Estima-se que, no Brasil, 76,1% da população acima de 18 anos possua cartão como meio de pagamentos, apesar de que as taxas para manter cartões são consideradas altas. Para os empreendedores, a aceitação do cartão não é mais vantagem competitiva, sendo muitas vezes questão de sobrevivência (CARMO, 2017).

No Brasil, antes da pandemia, o setor bancário e de meios de pagamentos já estava passando por uma série de transformações. De um lado, os players tradicionais com seus negócios pressionados, e de outro lado, os novos bancos e carteiras digitais trouxeram uma nova

maneira de servir o cliente (SAWAYA; GORAIEB; CRADDOCK, 2021).

Recentemente, durante a pandemia houve a introdução do Pix (pagamento instantâneo brasileiro) anunciado pelo Banco Central do Brasil como uma novidade onde os recursos são transferidos entre contas em poucos segundos a qualquer hora ou dia para alavancar a competitividade e eficiência do mercado, baixar custo e aumentar a segurança dos clientes, incentivar a digitalização do mercado de pagamentos de varejo, e promover a inclusão financeira para o sistema de pagamentos brasileiro. O Banco Central do Brasil é o responsável por regulamentar e exercer a vigilância sobre os sistemas, arranjos e instituições de pagamento (BACEN, 2022).

As adquirentes, termo que faz parte do jargão do setor bancário, popularmente chamadas de “máquinas de cartão”, esses equipamentos contribuem com a eficiência dos serviços bancários, que foram os primeiros a adotar esse meio de pagamento em 1995. Em 2010, o Banco Central do Brasil fomentou a desverticalização dessa atividade ampliando a oferta de sistemas e equipamentos (MATTOS, 2017).

Os meios de pagamento evoluíram com o desenvolvimento da sociedade criando participantes no sistema de pagamentos nacional, entre eles:

- a- Cliente final: conhecido como portador, aquele que tem interesse em adquirir um produto ou serviço realizando o pagamento por meio de transferência de recursos utilizando cartão ou dispositivo móvel (ROBERDS, 2008).
- b- Estabelecimento comercial: definidos como empresa ou lojistas que vendem produtos ou prestam serviços recebendo o pagamento por meio de dinheiro ou por meio eletrônico (ROBERDS, 2008).
- c- Adquirentes: Companhias que efetuam as transações e comunicação entre o Ponto de Venda (POS) e o banco emissor do cartão do cliente final (ROBERDS, 2008).
- d- Bandeira: São as instituições que autorizam o uso de sua marca e tecnologia por meio de emissores e empresas credenciadas, responsáveis pela comunicação entre o adquirente e o emissor do cartão (ROBERDS, 2008).
- e- Emissores: São instituições, geralmente bancos que gerenciam a conta de pagamento dos clientes por instrumentos como cartões de crédito ou débito (ROBERDS, 2008).

### *1.9.1 Pagamentos móveis*

Os pagamentos móveis são definidos a partir do uso de um equipamento móvel com o fim de realizar uma transação entre duas partes, na qual o dinheiro é transferido do pagador ao recebedor por meio de um intermediário ou de forma direta (MALLAT, 2007).

De acordo com Hayashi (2012), estes pagamentos móveis podem ser divididos em três tipos de transferências:

- a- Pessoa a pessoa: Iniciadas a partir de um dispositivo eletrônico móvel, podendo incluir transferências de pessoa para pessoa ou de pessoa para um comerciante.
- b- Aquisição remota de bens e serviços: Transações realizadas com o objetivo de adquirir bem ou serviço por uso da internet por meio de dispositivo móvel.
- c- Pagamento em ponto de venda física: São os pagamentos que se iniciam em um ponto de venda em um estabelecimento comercial com relação com a empresa adquirente.

O uso de pagamentos móveis ocorre tanto em países desenvolvidos, subdesenvolvidos e emergentes, cada qual em seu estado de evolução e adesão (BECH; HANCOCK, 2020).

## **1.10 SIMULAÇÃO**

A teoria das filas e a teoria da simulação surgiram no início do século XX e constituem a base conceitual de soluções tecnológicas como simuladores e ambientes de modelagem computacional. A abordagem de problemas complexos de dimensionamento e de fluxo levantam questões como a quantidade apropriada de equipamentos, o desempenho acertado de processos e melhores fluxos de produção, enfatizando a importância da simulação (PRADO, 2022).

A modelagem em simulação tem sido cada vez mais empregada como um instrumento que auxilia na análise de um sistema sem que a estrutura real seja modificada (FERNANDES; CAMPOS, 2017).

Modelos de simulação são uma abstração simplificada da realidade, que se aproxima em termos de comportamento dos sistemas reais. A principal função de um modelo de simulação é captar o que realmente interessa no processo decisório (CHWIF; MEDINA, 2010). A simulação é a representação de um sistema real por meio de um modelo computacional, para estudar o comportamento de um sistema, sem perturbá-lo (RODRIGUES et al., 2019).

Na elaboração de modelos abstraídos de problemas reais, é grande a preocupação com o desenvolvimento teórico e na comprovação da simulação discreta e sua adequação (FERRARI; MORABITO, 2020). Esse fato conota a importância da validação de modelos de simulação antes de seu uso efetivo.

A simulação é importante para o entendimento aprofundado do comportamento de um sistema e é geralmente aplicada por meio de uso de computador, utilizando *softwares* específicos como o Arena® (SANTOS; CAJUI; SILVA, 2020).

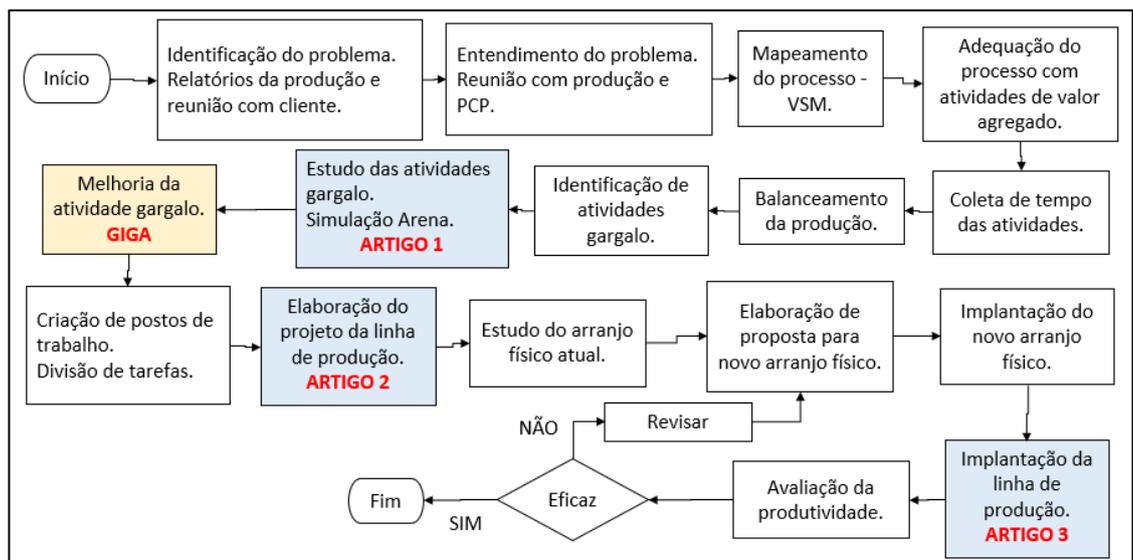
## 2 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta o procedimento metodológico utilizado para a aplicação do projeto, evidenciando as etapas realizadas durante a construção do projeto, objetivando elucidar o local, objetivos, instrumentos de pesquisa, coleta e análise dos dados e as fases de desenvolvimento do projeto na empresa. Define-se ciências como procedimentos que utilizam métodos científicos, porém, nem todos os trabalhos que utilizam esses métodos podem ser apontados como ciências, logo os métodos científicos não são exclusivamente utilizados pela ciência, porém, não se considera como ciências aquilo que é alcançado sem o apoio de métodos científicos (MARCONI e LAKATOS, 2017).

O método pode ser definido como uma forma de proceder em um caminho empregando um grupo de atividades sistemáticas e racionais, que permitem gerar conhecimentos válidos e verdadeiros auxiliando nas decisões de um cientista ou de um pesquisador na empresa de forma econômica e segura (MARCONI e LAKATOS, 2017).

A figura 4 ilustra a sequência das atividades desenvolvidas ao longo da pesquisa, os artigos científicos publicados e apresentados em eventos acadêmicos e a confecção de um artefato de teste.

Figura 5 – Fluxograma da metodologia



Fonte: Autor

**ARTIGO 1****Uso de simulação em operação de recarga de baterias na manutenção de máquinas de pagamento**

Objetivo:

Analisar cenários e auxiliar no planejamento da operação de recarga de baterias por meio de simulação de eventos discretos.

Método:

Simulação de eventos discretos

**ENEGEP 2021****ARTIGO 2****Aplicação da Metodologia DFMA para elaboração de um projeto de melhoria em processo produtivo**

Objetivo:

Analisar por meio de métodos e ferramentas de gestão, cenários de implantação e otimização do processo de manufatura.

Método:

DFMA

**SIMPROFI 2021****ARTIGO 3****Aplicação do Lean Manufacturing e Kaizen em processo produtivo de remanufatura**

Objetivo:

Avaliar o processo de produção atual, elaborar cenários de melhoria e implantar um processo de manufatura otimizado, alavancando a produtividade.

Método:

Pesquisa-ação

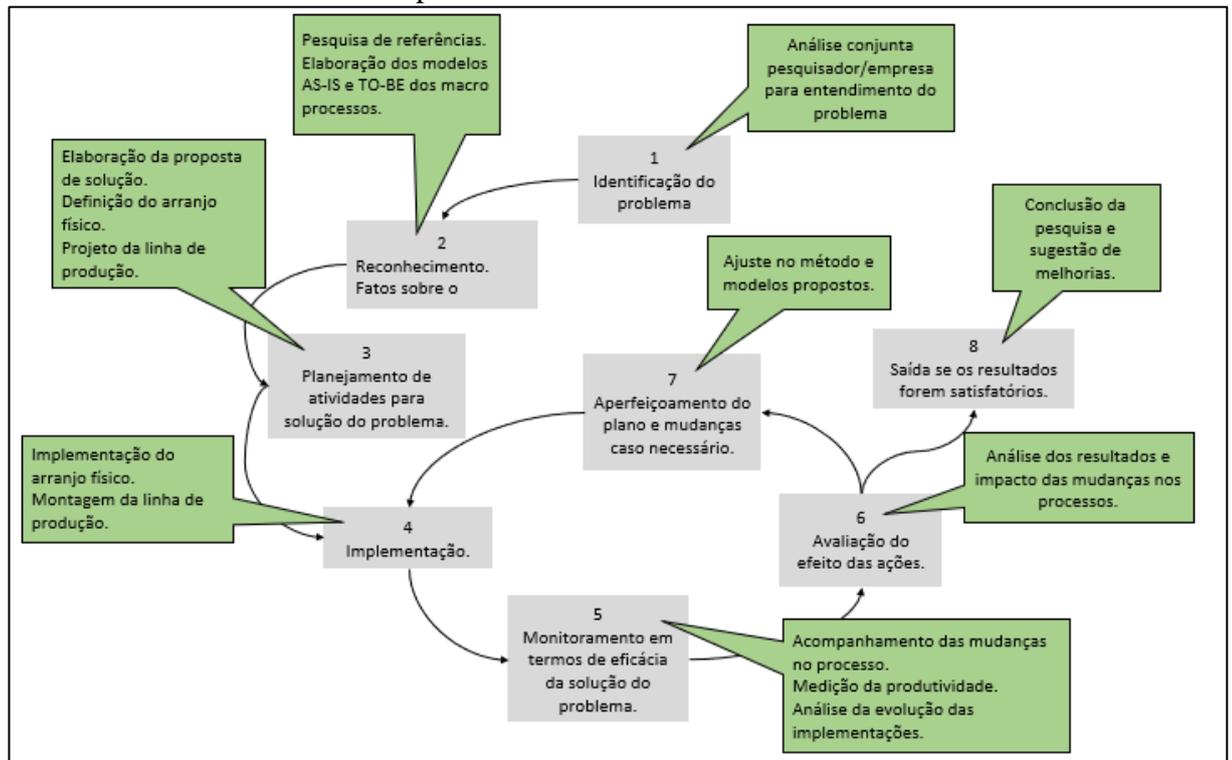
**SIMPEP 2022****GIGA**

Desenvolvimento de Giga para verificação do percentual de carga e classificação das baterias

**2.1 Tipos de pesquisa***2.1.1 Fundamentação teórica*

A fundamentação teórica foi desenvolvida por meio de revisão de literatura sobre os conceitos e técnicas do DFMA aplicado em processo de manufatura. O desenvolvimento da pesquisa-ação está dividido em oito fases apresentadas na literatura de McKay e Marshall (2001), detalhadas na figura 6 a seguir.

Figura 6 – Roteiro e suas dimensões experimentais



Fonte: Adaptado de McKay e Marshall, 2001

As etapas ilustradas na figura 6 são descritas como segue: na etapa 1, Identificação do problema, consiste na tarefa do pesquisador identificar o problema que tenha interesse em resolver. Na etapa 2, o pesquisador deve se empenhar em promover uma ampla revisão de literatura em busca de teorias que sirvam para dar suporte à solução do problema. A etapa 3, consiste em desenvolver um plano de ações para a solução do problema. Na etapa 4, o plano de ação desenvolvido na etapa 3 deve ser colocado em prática. A etapa 5, consiste em monitorar as ações implementadas para saber se os resultados obtidos estão de acordo com o esperado. Na etapa 6, é feito a avaliação do efeito das ações. É um ponto de decisão. Caso as ações tenham resolvido o problema, passar diretamente para a etapa 8. Caso contrário, ações corretivas devem ser implementadas na etapa 7. A etapa 7 deverá ser implementada caso o plano de ações elaborado na etapa 3 necessite de ajustes. A etapa 8, é a etapa conclusiva onde o problema deverá estar resolvido e os objetivos atingidos (tabela deste parágrafo).

Cada etapa foi documentada e validada internamente por meio de reuniões e levantamento de indicadores, mantendo o rigor da metodologia antes de passar para etapa seguinte.

### 2.1.2 Tipos de pesquisa quanto aos objetivos

Uma pesquisa científica é um procedimento sistemático e racional que visa encontrar soluções para problemas propostos e é utilizada quando não se tem conhecimento suficiente para a resolução do problema (GIL, 2017).

Segundo o autor há três tipos básicos de pesquisa com em seus objetivos:

- a) Pesquisa exploratória;
- b) Pesquisa descritiva;
- c) Pesquisa explicativa.

Este trabalho de pesquisa pode ser caracterizado como pesquisa exploratória que a partir de um problema, se elabora hipóteses as quais podem auxiliar na solução. Uma característica marcante deste tipo de pesquisa é buscar o aprimoramento de ideias. A pesquisa exploratória em geral apresenta planejamentos flexíveis que permitem a inclusão de vários aspectos relativos ao assunto estudado (GIL, 2017).

Para os autores Marconi e Lakatos (2017), para que uma pesquisa seja exploratória, ela deve ter como objetivo a formulação de problemas e questões através de três finalidades:

- a) Construir hipóteses;
- b) Promover a integração entre o pesquisador e o ambiente, fato ou fenômeno para alcançar futuramente uma pesquisa mais precisa;
- c) Esclarecer e alterar conceitos.

Em relação aos procedimentos, a abordagem adotada foi pesquisa-ação a qual objetiva conectar pesquisa e ação em um único processo, no qual os atores envolvidos participam, junto com os pesquisadores, para chegarem interativamente a elucidar a realidade em que estão inseridos identificando problemas, buscando e experimentando soluções em situação real (THIOLLENT, 1997). A escolha desse modelo se baseia no interesse do pesquisador e no ambiente onde a pesquisa será realizada. Por meio deste trabalho o autor busca obter um objetivo maior que é gerar conhecimento e estabelecer uma relação entre a teoria e a prática por meio do problema proposto, criando algum tipo de resultado positivo para a organização, onde será realizado o estudo.

Este estudo pode ser caracterizado pelo emprego de uma pesquisa com abordagem quantitativa e teve como foco a análise e aplicação em uma empresa de logística situada na grande São Paulo.

### 2.1.3 Tipos de pesquisa quanto aos procedimentos metodológicos

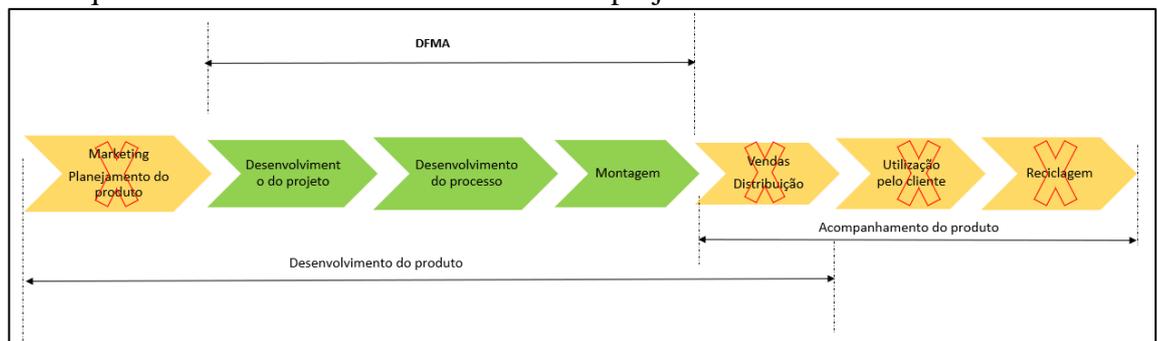
Segundo Gil (2017), existe uma classificação baseada em procedimentos técnicos utilizados que servem principalmente para confrontar a teoria com a prática. Essa classificação é o delineamento da pesquisa, o qual considera o local ou ambiente de coleta dos dados bem como as formas de controle das variáveis envolvidas.

## 2.2 Revisão de literatura

Este trabalho pesquisará um método mais eficiente para a construção de uma linha produtiva a partir do DFMA aplicado em seu contexto. A busca pelos documentos foi feita nas bases de dados Scopus entre os períodos de 2018 e 2023, selecionando as palavras “*Design For Manufacturing And Assembly*” OR “*DFMA*” AND “*production line*” OR “*assembly line*”. Filtrando somente artigos, o resultado da pesquisa retornou 2 documentos.

A aplicação do DFMA foi introduzida na fase de desenvolvimento do projeto do processo produtivo, pois o desenvolvimento do produto é feito pelo fabricante dos equipamentos. A figura 7 apresenta o modelo esquemático em quais fases do desenvolvimento do projeto o DFMA será aplicado.

Figura 7 – Sequência das atividades desenvolvidas no projeto



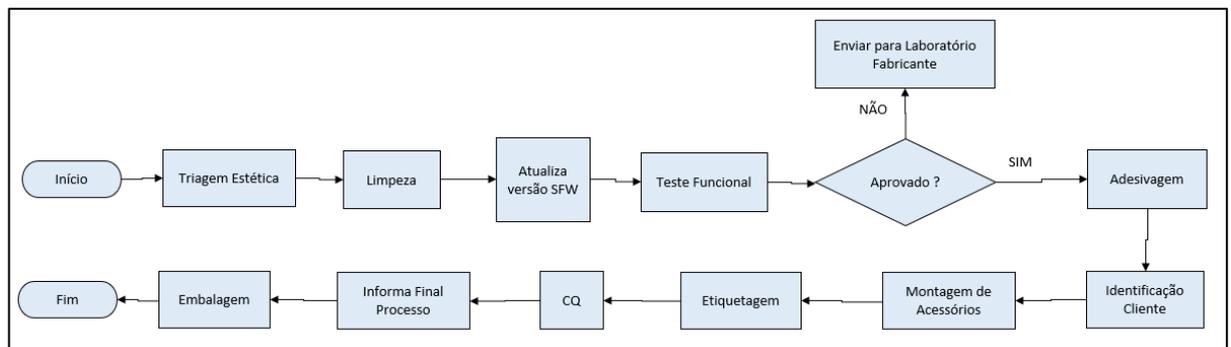
Fonte: Autor

### 2.3 Diagnóstico inicial

A realização deste trabalho ocorreu em uma empresa de remanufatura de máquinas para meios de pagamento, situada na grande São Paulo. O processo consiste em receber dos postos de atendimento as máquinas entregues pelos estabelecimentos comerciais identificadas como problemáticas quanto ao funcionamento, estas máquinas são recebidas, conferidas e enviadas para a produção onde é feita uma verificação estética e funcional.

A figura 8 apresenta a sequência das atividades do processo produtivo.

Figura 8 – Sequência produtiva



Fonte: Autor

O detalhamento de cada atividade desenvolvida no processo produtivo da empresa estudada, é apresentado nos tópicos enumerados abaixo:

- 1- A etapa de Triagem estética é a primeira fase do processo, em que os equipamentos são recebidos e é feita verificação geral do estado de conservação.
- 2- Na segunda fase, é feita higienização completa do equipamento, incluindo contatos e insumos como cabo e fonte.
- 3- Na terceira fase, é atualizada a versão do software interno do equipamento por meio de pen drive ou acesso via internet.
- 4- Na quarta fase, executa-se o teste funcional do aparelho, incluindo visor, teclado e simulando operação de venda. Caso seja constatado mal funcionamento eletrônico, o equipamento é retirado da linha de produção e encaminhado para reparo externo no laboratório do fabricante. Sendo aprovado, segue o processo de produção.
- 5- Na quinta fase, são aplicados os adesivos dos clientes.

- 6- Na sexta fase, efetua-se a colagem das etiquetas para rastreabilidade do produto e identificação do cliente.
- 7- Na sétima etapa, inclui a inserção dos componentes e acessórios como: cabo, fonte, bobina de papel, catálogos, manuais etc.
- 8- Na oitava etapa, se faz a impressão e colagem das etiquetas de identificação externa para embalagem individual do produto.
- 9- Na nona etapa, realiza-se o controle de qualidade por amostragem, seguindo critérios definidos em conformidade com a norma NBR-5426.
- 10- Na décima etapa, realiza-se o registro no sistema informatizado para controle de produção que o produto está concluído.
- 11- Na décima primeira etapa, última fase da produção, é realizado a embalagem múltipla do produto; estes são acomodados em caixa de papelão contendo 5 unidades, após destinados em paletes e enviados ao almoxarifado para expedição.

O processo produtivo fora projetado para a produção das máquinas de acordo com suas características e modelo devido a variedade de atividades para a execução do processo. O volume mensal produzido ficava abaixo da quantidade demandada pelo cliente, o processo de montagem era demorado e complexo, com operações redundantes e excesso de movimentação de materiais entre os operadores. A linha de produção havia sido implantada sem considerar os critérios para produção contínua seriada, não havia um leiaute adequado para montagem dos componentes, a sequência das atividades havia sido definida por meio de informações passadas pela experiência dos operadores, a quantidade de operadores não era dimensionada com base na análise de tempo e estudo de movimentos.

Diante deste cenário, constatou-se a necessidade de otimizar o processo produtivo, identificar e eliminar os gargalos, reduzir o tempo de ciclo e atravessamento, propor um modelo de processo produtivo mais eficiente.

Decidiu-se pela aplicação do método *Design For Manufacturing And Assembly* (DFMA) metodologia que promove modificações ou simplificações no projeto do produto visando reduzir custos de fabricação e montagem, seus princípios objetivam a diminuição do número de componentes e facilidade de montagem proporcionando aumento de produtividade.

A escolha do processo produtivo se deu por se tratar de uma ação de baixa capacidade de atendimento à demanda e fácil acesso para a coleta dos dados.

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1 Instrumentos de coleta de dados**

A coleta dos dados iniciou com o mapeamento do processo produtivo de todos os itens produzidos com a intenção de apurar os itens com maior tempo de processo. Todos os apontamentos do mapeamento, processo e tempos, foram realizados nos setores de produção durante os turnos de trabalho, por meio de observação direta com uso de cronômetro ou vídeos feitos com uso do aparelho celular. Os dados coletados na produção eram interpretados e analisados no escritório por meio da aplicação da ferramenta DFMA onde foi decidido criar uma célula piloto com as melhorias para o novo modelo de processo produtivo em área apartada da produção. Esta célula piloto operou durante 15 dias evidenciando os ganhos preliminarmente calculados, validando a implementação do novo processo nas linhas de produção.

Após concluir a montagem desta célula, iniciou-se a produção do item com acompanhamento do líder operacional e time de CQ.

Os resultados do indicador de produtividade apontados na produção após a implementação do método, foram comparados com os índices estabelecidos em contrato de prestação de serviço com o cliente, o qual acompanhou e validou as fases de implementação.

#### **3.2 Método para apuração dos resultados e indicadores**

A apuração dos resultados se baseia no indicador de volume de produção definido pelo cliente considerando o nível de serviço acordado (SLA) definido em contrato celebrado entre as empresas. A taxa de desempenho é o resultado da comparação objetiva entre a medição inicial do indicador antes da implementação e a medição final após a intervenção. O resultado esperado no processo crítico selecionado é o aumento do volume produzido com redução do custo operacional acordado com o cliente durante a realização do diagnóstico inicial.

Os indicadores considerados para apuração dos resultados são: Volume de produção, Tempo de processamento, Número de operadores, Área ocupada pela produção, Índice de aproveitamento e Número de operações.

- i. Volume de produção: É o principal indicador de desempenho sendo necessário a medição em todos os processos produtivos para a obtenção da quantidade de itens fabricados na jornada de trabalho e disponíveis para expedição.
- ii. Tempo de processamento: Indicador medido considerando a taxa de processamento dos itens em todas as etapas do processo, ou seja, é contado a quantidade de itens fabricados em uma unidade de tempo (unidades por hora).
- iii. Número de operadores: É a quantidade de operadores dedicados para cada linha de produção, incluindo os operadores para movimentação de materiais.
- iv. Área ocupada pela produção: É a medição em metros quadrados que a área produtiva ocupa para produção, armazenagem de insumos e circulação de pessoal.
- v. Índice de aproveitamento: É calculado em função da quantidade de atividades que agregam valor sobre o total de atividades do processo.
- vi. Número de operações: É a quantidade de operações necessárias para a fabricação de um produto.

### **3.3 Resultado e análise do mapeamento de processo VSM**

Para o mapeamento do processo, foi aplicado a ferramenta VSM em todas as linhas de produção, proporcionando identificar as etapas gargalo e as atividades que não tinham valor agregado (VNA). Concluído o mapeamento, foi calculado o índice de valor agregado inicial de 57%, valor aquém do objetivo esperado, indicando a necessidade de um estudo mais detalhado em cada etapa com o propósito de atingir um índice mínimo de 80%, definido como aceitável neste primeiro momento. Após a identificação das atividades de valor não agregado, foi criado um grupo de estudo com o propósito de estudar o processo e propor alternativas plausíveis para a eliminação ou redução do tempo destas atividades. O grupo criado foi composto com profissionais das áreas de engenharia e processos. Dentre as propostas sugeridas, a eliminação e o agrupamento de atividades, foram as soluções encontradas e implementadas nos processos. Concluído as melhorias no processo, um novo mapeamento foi realizado, obtendo 85% de valor agregado (VA), acima do percentual mínimo definido.

Figura 9 – Mapeamento com tempos de processo – VA e VNA



Fonte: Autor

### 3.3.1 Cálculo do índice de aproveitamento antes

$$\text{Índice de aproveitamento antes} = \frac{\Sigma \text{ tempo de VA}}{\Sigma \text{ tempo de processo}}$$

$$\text{Índice de aproveitamento antes} = \frac{127}{222}$$

$$\text{Índice de aproveitamento antes} = 57\%$$

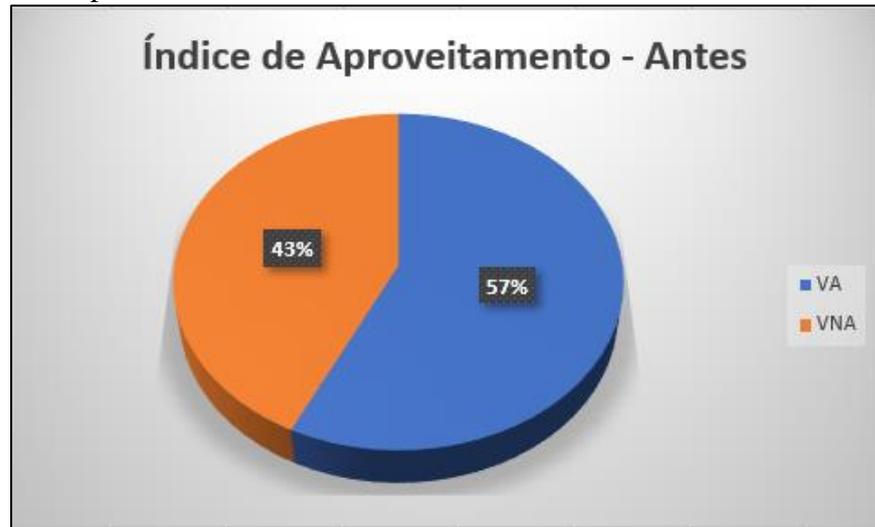
### 3.3.2 Cálculo do índice de aproveitamento depois

$$\text{Índice de aproveitamento depois} = \frac{\Sigma \text{ tempo de VA}}{\Sigma \text{ tempo de processo}}$$

$$\text{Índice de aproveitamento depois} = \frac{97}{114}$$

$$\text{Índice de aproveitamento depois} = 85\%$$

Figura 10 – Índice de aproveitamento



Fonte: Autor

Figura 11 – Índice de aproveitamento



Fonte: Autor

Durante a análise das atividades, foi identificado que o tempo para recarga das baterias não era o suficiente para atendimento da demanda diária da produção gerando assim um gargalo no processo. Após identificar o gargalo, iniciou-se o estudo desta atividade (detalhada no capítulo 3.4), para após então, dar continuidade ao projeto.

### 3.4 Estudo de tempos e movimentos

#### 3.4.1 Análise de tempos e movimentos

Na fase de levantamento dos dados, foi constatado que o tempo de processamento mensurado não era coerente com o tempo real produzido, essa constatação se tornou possível após a necessidade de medir o tempo individual de cada atividade do processo, pois, o indicador até então praticado, relatava somente a medição do volume diário de produção, devido ao processo adotado para a produção, o qual os equipamentos produzidos em cada etapa eram acondicionados em caixas plásticas tipo Hortifruti contendo internamente lote múltiplo de cinquenta unidades cada, sem um fluxo contínuo de produção.

Antes das alterações no processo, foi calculado o tempo padrão para cada atividade, o quadro 3 apresenta os tempos coletados para as operações de A até M, sendo calculado a média apresentada na coluna “Médio”; a coluna “Normal” apresenta o tempo médio majorado da velocidade (ritmo) do operador; na coluna “Padrão” o tempo normal foi acrescido de 13% de tolerância por fadiga, totalizando 0,357 horas, ou seja, 21,4 minutos.

O quadro 2 traz circulado, os percentuais de tolerância adotados para este trabalho, totalizando 13%.

Quadro 2 – Tolerâncias selecionadas

DESCRIÇÃO	%	DESCRIÇÃO	%
<b>A. Tolerâncias Invariáveis</b>		4. Iluminação deficiente:	
1. Tolerâncias para necessidades pessoais	5	a. ligeiramente abaixo do recomendado	0
2. Tolerâncias básicas para fadiga	4	b. bem abaixo do recomendado	2
<b>B. Tolerâncias Variáveis</b>		c. muito inadequada	5
1. Tolerância para ficar em pé	2	5. Condições atmosféricas	0-10
2. Tolerância quanto à postura		(calor-umidade) - variáveis	
a. ligeiramente desajeitada	0	6. Atenção cuidadosa	
b. desajeitada (recurvada)	2	a. trabalho razoavelmente fino	0
c. muito desajeitada (deitada, esticada)	2	b. trabalho fino ou de precisão	2
3. Uso de força ou energia muscular (erguer, puxar ou levantar)		c. trabalho fino ou de grande precisão	5
2.5	0	7. Nível de ruído:	
5.0	2	a. contínuo	0
7.5	2	b. intermitente - volume alto	2
10.0	3	c. intermitente - volume muito alto	5
12.5	4	d. timbre elevado - volume alto	5
15.0	5	8. Estresse mental	
17.5	7	a. processo razoavelmente complexo	1
20.0	9	b. processo complexo, atenção abrangente	4
22.5	11	c. processo muito complexo	8
25.0	13	9. Monotonia:	
27.5	17	a. baixa	0
30.0	22	b. média	1
		c. elevada	4
		10. Grau de tédio	
		a. um tanto tedioso	6
		b. tedioso	2
		c. muito tedioso	2

Fonte: Stevenson *apud* Peinado e Graeml, 2001

Quadro 3 – Cronoanálise e tempos

Operações	Tempos cronometrados, em milésimos de hora										Tempos			
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	Médio	Normal	Padrão	
A	0,009	0,015	0,015	0,012	0,011	0,015	0,011	0,012	0,012	0,015	0,013	0,012	0,013	
B	0,012	0,015	0,015	0,012	0,014	0,015	0,013	0,012	0,012	0,015	0,014	0,013	0,014	
C	0,015	0,02	0,025	0,015	0,011	0,023	0,022	0,02	0,012	0,015	0,018	0,017	0,019	
D	0,04	0,07	0,02	0,05	0,04	0,05	0,06	0,055	0,057	0,06	0,050	0,047	0,053	
E	0,034	0,047	0,02	0,048	0,039	0,05	0,052	0,053	0,057	0,048	0,045	0,042	0,048	
F	0,043	0,033	0,042	0,037	0,041	0,038	0,038	0,046	0,035	0,037	0,039	0,037	0,041	
G	0,051	0,059	0,068	0,069	0,058	0,069	0,071	0,064	0,063	0,068	0,064	0,060	0,068	
H	0,009	0,005	0,008	0,007	0,009	0,008	0,005	0,003	0,004	0,007	0,007	0,006	0,007	
I	0,009	0,015	0,015	0,012	0,011	0,015	0,011	0,012	0,012	0,015	0,013	0,012	0,013	
J	0,023	0,02	0,029	0,037	0,041	0,022	0,029	0,021	0,03	0,027	0,028	0,026	0,030	
K	0,009	0,005	0,008	0,007	0,009	0,008	0,005	0,003	0,004	0,007	0,007	0,006	0,007	
L	0,009	0,013	0,015	0,01	0,011	0,013	0,011	0,012	0,01	0,015	0,012	0,011	0,013	
M	0,025	0,023	0,029	0,037	0,041	0,022	0,029	0,022	0,03	0,027	0,029	0,027	0,030	
Velocidade 94%	0,94										Total		0,357	hs
Tolerância 13%	0,13										Tolerâncias		5 + 4 + 2 + 2	13%
											Tempo padrão final		21,4	min

Fonte: Autor

Para cálculo do tempo normal foi considerado ritmo de 94%. os dados calculados foram tabulados na coluna “Normal”. O tempo padrão foi obtido multiplicando o valor do tempo normal acrescido de 13% de tolerância

$$TN = \bar{X} \times 0,94$$

$$TP = TN \times 1,13$$

$$TP \text{ final} = TP \times 60\text{min}$$

$$TP \text{ final} = 21,4 \text{ min}$$

Concluído o estudo dos tempos e movimentos foi identificado a necessidade de elaborar o projeto de cada posto de trabalho, considerando as distâncias dos componentes ao operador, o número de movimentos de cada operação e sua repetibilidade, proporcionando ao operador executar a atividade com menor esforço físico possível, respeitando o novo tempo padrão calculado, reduzindo assim, o tempo de atravessamento.

### 3.4.2 Análise de Capacidade e Demanda

O quadro 4 traz os produtos produzidos (A até J), os recursos utilizados (R1 a R13) e a duração da atividade em cada recurso.

Quadro 4 – Estrutura de planilha com relação a Capacidade e Demanda

Planilha de análise da Capacidade Versus Demanda																
	RECURSOS													Total (horas)	Demanda (peças)	
	R 1	R 2	R 3	R 4	R 5	R 6	R 7	R 8	R 9	R 10	R 11	R 12	R 13			
PRODUTOS	A	0,013	-	0,018	-	-	0,029	0,028	-	0,013	-	0,007	0,011	0,029	0,148	694
	B	0,013	-	0,018	-	-	0,029	0,083	-	0,013	-	0,007	0,011	0,029	0,203	844
	C	0,013	0,014	0,033	-	-	0,040	0,067	0,007	0,013	-	0,007	0,011	0,029	0,233	61
	D	0,013	-	0,017	-	-	0,040	0,050	0,007	0,013	-	0,007	0,011	0,029	0,186	19
	E	0,013	-	0,017	-	-	0,038	0,063	0,007	0,013	0,029	0,007	0,011	0,029	0,226	517
	F	0,013	-	0,017	-	-	0,050	0,067	0,007	0,013	0,029	0,007	0,011	0,029	0,242	319
	G	0,013	-	0,017	-	-	0,050	0,067	0,007	0,013	0,029	0,007	0,011	0,029	0,242	125
	H	0,013	-	0,017	-	-	0,050	0,067	0,007	0,013	0,029	0,007	0,011	0,029	0,242	156
	I	0,013	-	0,017	-	-	0,050	0,067	0,007	0,013	0,029	0,007	0,011	0,029	0,242	22
	J	0,013	-	0,017	0,050	0,045	0,050	0,083	0,007	0,013	0,029	0,007	0,011	0,029	0,353	353
Demanda (horas)		40,43	0,85	55,03	17,65	15,89	116,20	198,12	10,92	40,43	42,63	20,73	34,21	90,19	683,28	
Recurso necessário		5,1	0,1	6,9	2,2	2,0	14,5	24,8	1,4	5,1	5,3	2,6	4,3	11,3		
Recurso alocado		5	1	7	3	2	15	25	2	5	6	3	5	12		
Capacidade alocada		40	8	56	24	16	120	200	16	40	48	24	40	96	728	
Diferença		- 0,43	7,15	0,97	6,35	0,12	3,80	1,88	5,08	- 0,43	5,37	3,27	5,79	5,81	44,72	
% aproveitamento		99%	937%	102%	136%	101%	103%	101%	147%	99%	113%	116%	117%	106%		

Fonte: Autor

No quadro 4 é possível perceber que os recursos com tempo nulo, significam que a fabricação do produto não utiliza o recurso.

A coluna demanda representa a demanda diária para cada produto, esta é calculada com a quantidade mensal informada pelo cliente dividido pelo número de dias trabalhados no respectivo mês.

Ao somar as colunas recursos, obtém-se a demanda total do recurso em horas, como a jornada diária considerada é de oito horas, dividindo o total do recurso pela jornada, é obtido a quantidade mínima de recurso necessário.

Com a quantidade de recursos e a jornada, é calculado a capacidade de recurso que deve ser alocado em cada etapa.

Observa-se que o total da capacidade alocada é superior a capacidade necessária. Nos recursos R1 e R9 nota-se discreta diferença negativa, significando que a quantidade de recursos é insuficiente para a demanda, entretanto, o valor da diferença nos leva a refletir se este tempo não poderia ser absorvido durante o processo como um todo. Razão pela qual foi decidido não acrescentar mais recurso pois geraria ociosidade. De outro lado, ao se calcular o percentual de aproveitamento dos recursos, nota-se a ocorrência de ociosidade nos recursos R2, R4 e R8, pois estão com percentual acima da necessidade e, ao reduzir um recurso, esta necessidade não é atingida.

### 3.4.3 Análise de OEE

O indicador de efetividade global começou a ser mensurado em dezembro de 2022, com o objetivo de comparação dos itens produzidos sem defeitos com a capacidade de produção. Desde então, ao final de cada mês o indicador é calculado e discutido com as equipes de engenharia e processos com o propósito de analisar as causas e melhorar continuamente o processo.

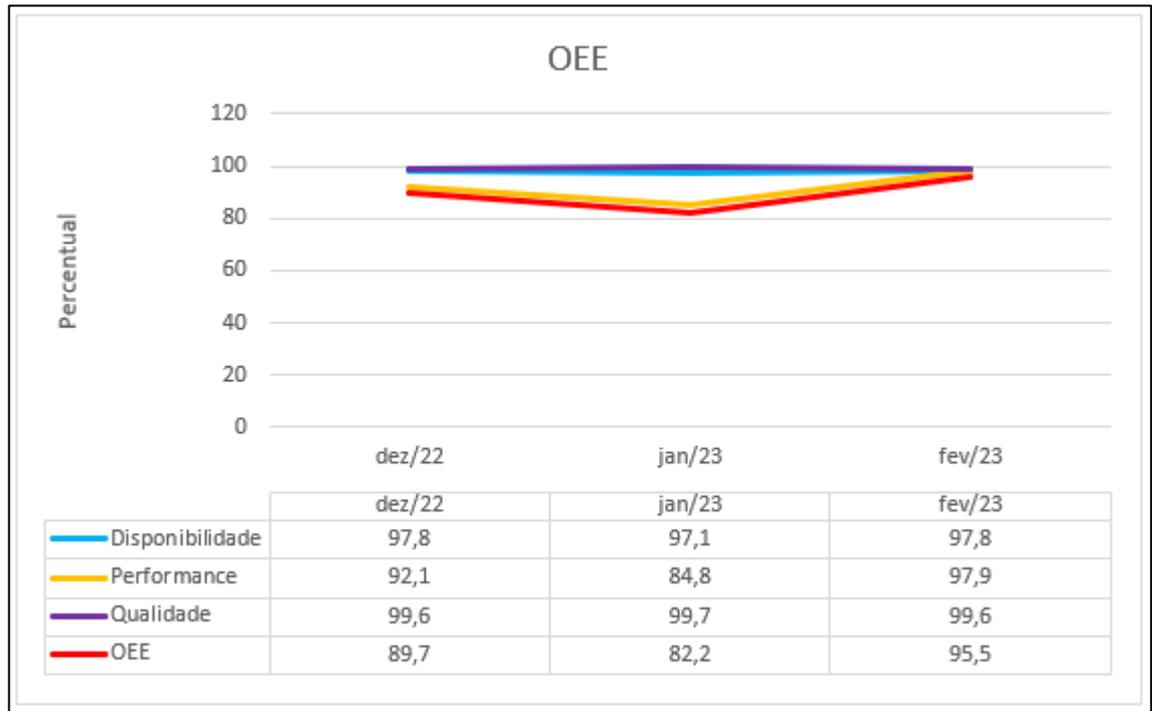
Tabela 1 – Evolução do OEE em relação aos meses de operação

Índice	Dez/22	Jan/23	Fev./23	Classe mundial
$I_D$	97,8	97,1	97,8	$\geq 90\%$
$I_P$	92,1	84,8	97,9	$\geq 95\%$
$I_Q$	99,6	99,7	99,6	$\geq 99,9$
OEE	89,7	82,2	95,5	85%

Fonte: Autor

A tabela 1 apresenta os indicadores de disponibilidade, performance, qualidade e OEE obtidos nos meses de dezembro a fevereiro os quais ao serem comparados com os indicadores classe mundial, classificam a empresa nesta categoria.

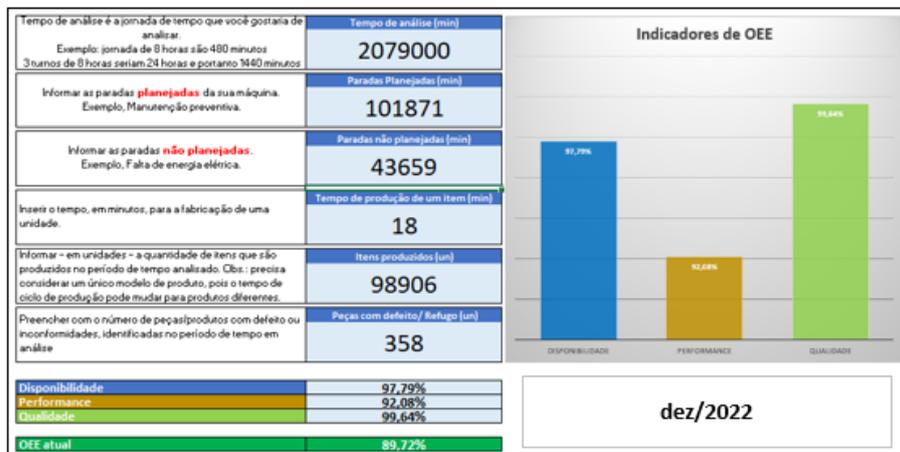
Figura 12 – Evolução do OEE, Disponibilidade, Performance e Qualidade



Fonte: Autor

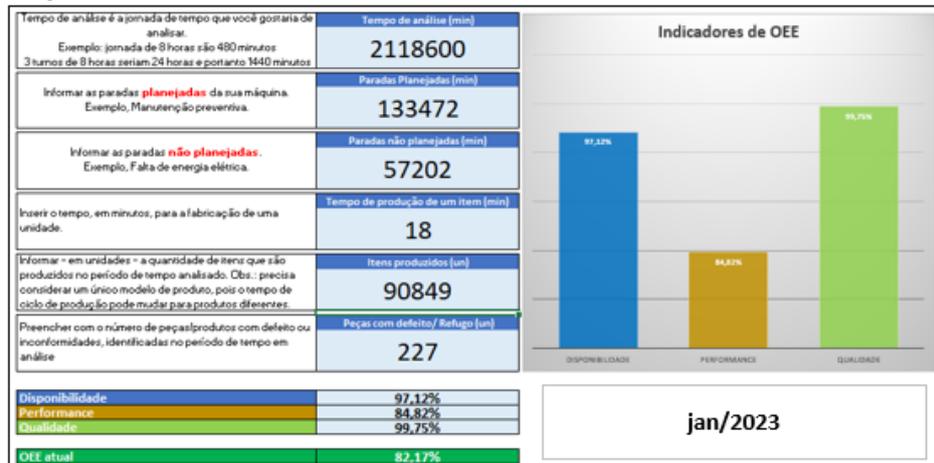
As figuras 13, 14 e 15, apresentam os valores apurados para o cálculo dos indicadores de disponibilidade, performance e qualidade.

Figura 13 – OEE dez/22



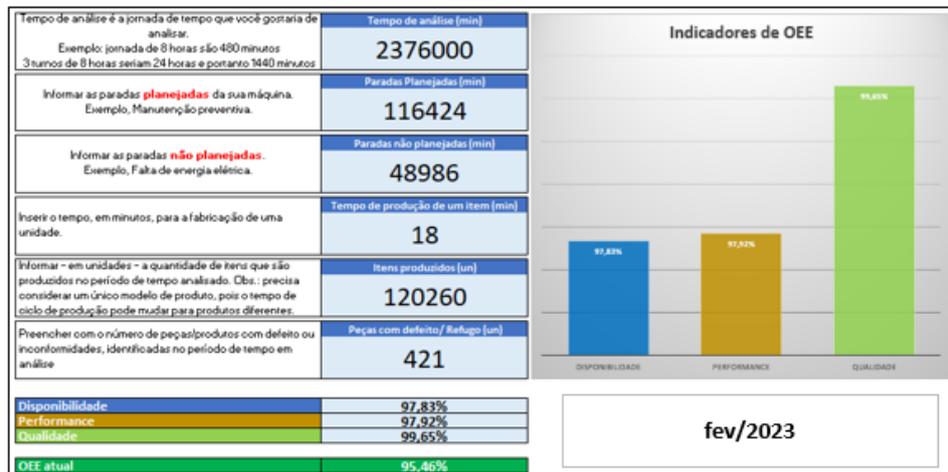
Fonte: Autor

Figura 14 – OEE jan./23



Fonte: Autor

Figura 15 – OEE fev./23



Fonte: Autor

### 3.5 Balanceamento da produção

Um primeiro levantamento dos tempos de produção permitiu constatar que a produção era ordenada por uma quantidade de etapas de “A” a “K”, não balanceadas conforme apresentado na figura 16 e que não era possível estimar qual seria o volume total produzido no turno. Constatação esta que justificou iniciar uma avaliação detalhada objetivando a redução de etapas e nivelamento do processo. O início da avaliação se deu com o cálculo do *takt time* do processo apresentado abaixo:

### 3.5.1 Cálculo do takt time antes

$$\text{takt time} = \frac{\text{tempo disponível no turno}}{\text{demanda cliente por turno}}$$

$$\text{takt time} = \frac{28800 \text{ seg}}{3571 \text{ un}}$$

$$\text{takt time} = 8 \text{ segundos por unidade}$$

Após aplicação da metodologia DFMA, e alteração para fluxo contínuo, foi permitido iniciar a medição do tempo de processamento obtendo como tempo de ciclo médio para cada unidade produzida 8 segundos, resultando em volume diário de 3600 unidades produzidas, considerando jornada diária de oito horas, sendo gradativamente melhorado para 6 segundos decorridos dez meses da melhoria. Esta redução do tempo de ciclo proporcionou o aumento do volume diário para 4750 unidades representando um ganho de 32% de produtividade.

### 3.5.2 Cálculo do takt time depois

$$\text{takt time} = \frac{\text{tempo disponível no turno}}{\text{demanda cliente por turno}}$$

$$\text{takt time} = \frac{28800 \text{ seg}}{4750 \text{ un}}$$

$$\text{takt time} = 6 \text{ segundos por unidade}$$

A figura 16 apresenta a quantidade produzida por hora coletada na primeira medição do trabalho, detalhando a quantidade produzida por cada uma das etapas, observa-se que as quantidades não eram uniformes, vários gargalos foram identificados e gradativamente sendo minimizados para estabilização do processo e, após a implantação da ferramenta, houve um aumento na quantidade produzida por hora e um agrupamento de atividades nos postos de trabalho.

Figura 16 – Balanceamento da produção – antes



Fonte: Autor

Figura 17 – Balanceamento da produção - depois



Fonte: Autor

Nota-se que o posto de trabalho PT3, por produzir a menor quantidade perante os

demais, foi escolhido para o início da análise detalhada das atividades. Esta análise resultou na identificação que o processo de abastecimento e deslocamento dos repositores gerava o atraso no processo, demandando agora, um estudo detalhado das movimentações e arranjo físico da área. Ao iniciar o estudo da cadeia de abastecimento interno, foi encontrado um gargalo na etapa de recarga das baterias o que levou a detalhar o processo objetivando analisar cenários e auxiliar no planejamento e capacidade da operação de recarga de baterias por meio de simulação de eventos discretos. Este estudo iniciou-se com a observação direta, consulta a registros e simulação de eventos discretos, utilizando pesquisa quantitativa com utilização de métodos estatísticos. Por meio do simulador Arena®, foi criado cenários onde os carregadores foram distribuídos segundo diferentes faixas de tempo de recarga, isto proporcionou o desenvolvimento de um artefato para verificação inicial do percentual de carga das baterias apresentado na figura 6.

### 3.5.3 Análise do processo para recarga de baterias

A operação de carga de baterias trabalha com demanda diária maior do que a capacidade produtiva. Isso ocasiona jornada extraordinária diária ou em finais de semana. A produção está dividida em linhas de produção dedicada para cada modelo de equipamento.

A carga de baterias é o gargalo da operação, pois opera com menor capacidade produtiva em relação às outras áreas da produção (Tabela 2). Na empresa analisada, não existe sistemática para identificação e busca de capacidade adicional no gargalo.

Tabela 2 - Volume de produção diária

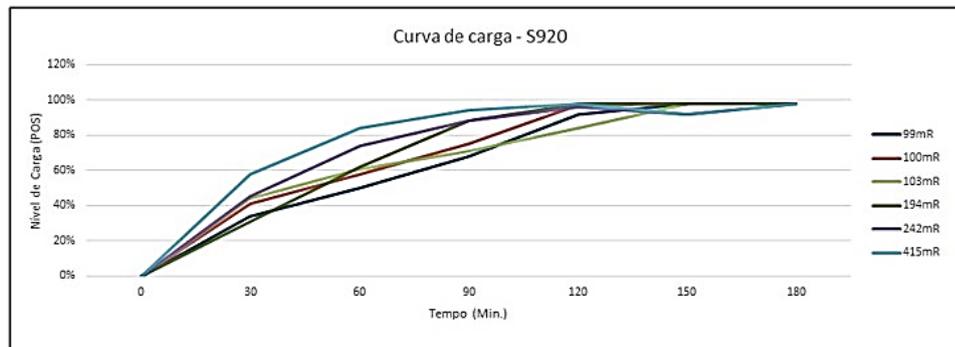
Área	Produção por hora	Produção por dia
Recebimento	350	2800
Produção	312,5	2500
Carga de bateria	100	800

Fonte: Autor

Foi verificado o percentual de carga da bateria versus o tempo de carregamento, e as curvas de carga foram plotadas no gráfico da Figura 18 - Efetuando medição da carga de várias baterias, observa-se que o percentual de 100% da carga é atingido por volta de 120 minutos de

carregamento no caso de baterias recebidas com baixa carga residual.

Figura 18 - Tempo de Recarga versus Carga de Bateria



Fonte: Autor

As baterias retiradas das máquinas são enviadas ao setor de carregamento responsável por assegurar que retornem à linha de produção com carga mínima especificada pelo cliente. As baterias são separadas por modelo e inseridas nos carregadores. Para assegurar a totalidade da carga, definiu-se o tempo máximo de carregamento em duas horas, período em que uma bateria demora para atingir sua carga total considerando-a totalmente descarregada.

Quando baterias permanecem por período de duas horas de carregamento e, considerando uma jornada de oito horas, consegue-se no máximo 4 ciclos de carregamento, ocasionando gargalo na operação de checagem e manutenção das máquinas devido não se atingir a quantidade diária demandada.

Finalizado o período do carregamento, as baterias são retiradas dos carregadores, testadas por amostragem, identificadas e enviadas à produção, sendo então inseridas nos equipamentos dando sequência ao processo produtivo. Ao final da jornada de trabalho, foi constatado que para produzir a quantidade de equipamentos de forma a atender a demanda diária, seria necessário consumir baterias disponíveis em estoque. Ocasionalmente assim, a redução do nível de estoque, projetando uma futura interrupção da produção mediante o esgotamento por completo.

Foi realizado levantamento no processo de triagem dos níveis de carga. O objetivo foi de reduzir o tempo de carga das baterias, evitar desperdício de energia elétrica e aumentar o volume de baterias carregadas no final do turno de trabalho. Foi desenvolvida uma giga de

triagem para fazer a leitura do percentual de carga residual de cada bateria, apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Carga residual das baterias

Carga residual (%)	Quantidade por faixa (%)
0 a 20%	53
21% a 50%	18
51% a 74%	12
Acima de 74%	17

Fonte: Autor

Analisando os valores da Tabela 3 foi evidenciado que 17% das baterias recebidas se encontravam com percentual mínimo para utilização, não sendo necessário o seu carregamento e, 53% necessitam de carregamento total de duas horas. Ficou evidenciado o desperdício de energia elétrica, uso desnecessário de carregadores e mal aproveitamento do turno de trabalho.

Com esta constatação, foram estabelecidas faixas de percentual de cargas para estabelecer tempo mínimo de carregamento (Tabela 4).

Tabela 4 - Tempo de recarga por percentual residual

Percentual de carga (%)	Tempo de carga (min)
Até 20%	120
21% a 50%	70
51% a 74%	50
Acima de 74%	Liberado produção

Fonte: Autor

A área para carregamento foi adequada em função das faixas e tempo de carga acima. A quantidade de carregadores foi dimensionada e distribuída para cada faixa permitindo efetuar várias cargas no mesmo turno, até então, a quantidade que era de 4 ciclos por turno (considerando o tempo de duas horas de carga), passou para 21. a tabela 5 a seguir apresenta a quantidade de ciclos realizada por jornada por turno após a readequação do processo.

Tabela 5 – Recargas por turno de trabalho

Percentual de carga	Tempo de carga (min)	Turno (min)	Nº recargas (turno)
Até 20%	120	480	4
21% a 50%	70	480	7
51% a 74%	50	480	10

Fonte: Autor

### 3.5.4 Uso da Simulação

Por meio de simulação de eventos discretos, foram estudados cenários com diferentes quantidades de carregadores em cada faixa de tempo de carregamento. O modelo elaborado no simulador Arena® permitiu reproduzir experimentos em que o sistema operou durante um dia de expediente de oito horas. Foram realizadas três réplicas de um dia em cada um dos quatro cenários simulados. Os dados dos percentuais de carga da Tabela 3 foram usados como parâmetros de probabilidade de ocorrência dos níveis de carga, sendo sorteados aleatoriamente pelo simulador. As baterias foram consideradas como as entidades do modelo. Os carregadores de cada faixa foram considerados como recursos. O modelo considerou três tipos de recurso com capacidade que variou nos cenários simulados conforme a Tabela 6.

Tabela 6 - Carregadores por faixa de carga nos cenários simulados

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Carregadores 70 min	4	5	5	5
Carregadores 50 min	2	3	4	5
Carregadores 120 min	22	20	19	18

Fonte: Autor

A tabela 6 mostra que o número total de carregadores utilizados na operação de recarga é de 28. A quantidade total de carregadores foi mantida nos cenários simulados para que o consumo de espaço e mão-de-obra e de energia elétrica não fossem alterados. O cenário 1 traz a quantidade de carregadores utilizados no sistema real por faixa de tempo de recarga. Os cenários 2, 3 e 4, foram definidos com base nos resultados obtidos pela simulação do cenário 1. Foram verificados uma série de indicadores de estado e comportamento do sistema simulado do cenário 1 (quadro 5), no relatório gerado pelo simulador Arena®. Os mesmos indicadores foram analisados nos outros cenários simulados para comparação.

Quadro 5 - Performance analisada na simulação

<b>Indicadores</b>
espera média na fila da recarga de 70 min
espera média na fila da recarga de 50 min
espera média na fila da recarga de 120 min
% de ocupação média dos carregadores de 70 min
% de ocupação média dos carregadores de 50 min
% de ocupação média dos carregadores de 120 min
carregadores ocupados em média 70 min
carregadores ocupados em média 50 min
carregadores ocupados em média 120 min
total de baterias carregadas

Fonte: Autor

No cenário 1, o número de carregadores alocados nas diferentes faixas de tempo de recarga, permitiram carregar 172 baterias. Esse indicador foi utilizado como validação do modelo de simulação, por corresponder a média de baterias recarregadas na operação real.

Com o modelo validado, foram realizados experimentos com os cenários 2, 3 e 4, em que o número de carregadores alocados em cada faixa variou. Foi verificada ociosidade nos carregadores alocados na faixa de 120 minutos de tempo de carregamento. Os cenários simulados foram baseados na realocação de carregadores da faixa de 120 minutos para as demais faixas em que não foi verificada ociosidade. A Tabela 7 retrata os resultados dos indicadores analisados em cada cenário simulado.

Tabela 7 - Resultados da simulação dos carregadores dos terminais de pagamento

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Carregadores 70 min	4	5	5	5
Carregadores 50 min	2	3	4	5
Carregadores 120 min	22	20	19	18
Espera média na fila de recarga de 70 min	1,44h	0,92h	0,92h	0,92h
Espera média na fila de recarga de 50 min	2,39h	1,51h	0,69h	0,27h
Espera média na fila de recarga de 120 min	1,3h	1,52h	1,61h	1,71h
% de ocupação média dos carregadores de 70 min	100%	98,9%	98,9%	98,9%
% de ocupação média dos carregadores de 50 min	100%	100%	100%	89,37%
% de ocupação média dos carregadores de 120 min	93,53%	93,92%	94,14%	94,37%
Carregadores ocupados em média 70 min	4	4,94	4,94	4,94
Carregadores ocupados em média 50 min	2	3	4	4,46
Carregadores ocupados em média 120 min	20,58	18,78	17,88	16,98
Total de baterias carregadas	17	181	187	189

Fonte: Autor

A quantidade total de baterias carregadas é o principal indicador do sistema. Nota-se na Tabela 7 que, com a realocação dos carregadores da faixa de 120 minutos de recarga para as outras faixas, aumenta gradativamente o número total de baterias carregadas ao final do expediente. Analisando-se o cenário 1 em comparação ao cenário 4, em que os carregadores foram realocados nas faixas de tempo de recarga de 50 minutos e 70 minutos, o número de baterias carregadas foi elevado em aproximadamente 10%, mantendo-se o número total de 28 carregadores alocados na operação de recarga, variando de 172 para 189.

Analisando os indicadores de filas das faixas de recarga, nota-se que o tempo de espera médio da faixa de 50 minutos no cenário 1, que era de 2,39 horas, caiu no cenário 2 para 1,51 horas, no cenário 3 caiu para 0,69 horas, e no cenário 4 o tempo de espera médio caiu para 0,27 horas. A forte queda do tempo em fila é um indicativo que essa faixa de tempo de recarga mais curta pode contribuir com o número total de baterias recarregadas ao final do dia. Nota-se também que nos cenários 1, 2 e 3, a ocupação dos carregadores foi de 100%. No cenário 4, com maior número de carregadores alocados, houve ociosidade de aproximadamente 10% da

operação de recarga. Esse fato pode indicar que o cenário 4 é o limite de alocação de carregadores nessa faixa de tempo de recarga.

O indicador que traz o número médio de carregadores ocupados durante o expediente, mostra que todos os carregadores na faixa de tempo de recarga de 50 minutos ficaram ocupados nos cenários 1,2 e 3, em que respectivamente foram alocados nessa faixa, 2, 3 e 4 carregadores. No cenário 4, o número de carregadores alocado nessa faixa de tempo de recarga foi 5, e o número médio de carregadores ocupados foi 4,46 durante 1 dia de expediente simulado. O comportamento desse indicador confirma que se alocar mais carregadores na faixa de tempo de recarga de 50 minutos, pode haver ociosidade e afetar a quantidade total de baterias carregadas.

Tabela 8 - Carregadores alocados versus ocupados

	Carregadores 70 min	Carregadores 50 min	Carregadores 120 min
Alocados	4	2	22
Cenário 1 ocupados (média)	4	2	20,58
Alocados	5	3	20
Cenário 2 ocupados (média)	4,94	3	18,78
Alocados	5	4	19
Cenário 3 ocupados (média)	4,94	4	17,88
Alocados	5	5	18
Cenário 4 ocupados (média)	4,94	4,46	16,98

Fonte: Autor

### 3.5.5 Artefato criado

Em virtude da seleção das baterias por faixa de carga residual, tal atividade não poderia impactar negativamente no tempo do processo de recarga, desta forma, foi desenvolvido uma giga para selecionar rapidamente as baterias. Esta giga foi desenvolvida internamente na empresa e é dotada internamente de um circuito elétrico programado com as faixas de percentuais de carga. Ao inserir a bateria, o circuito faz a leitura do percentual de carga, verifica

pelo programa interno qual faixa se encontra e acende o led respectivo do percentual. foi implantado três diferentes cores de led a seguir:

Led verde significa que o percentual de carga está acima do limite estabelecido pelo cliente e a bateria pode ser enviada para a produção.

Led amarelo indica que o percentual está entre 21% e 74%, sinalizando recarga de setenta minutos.

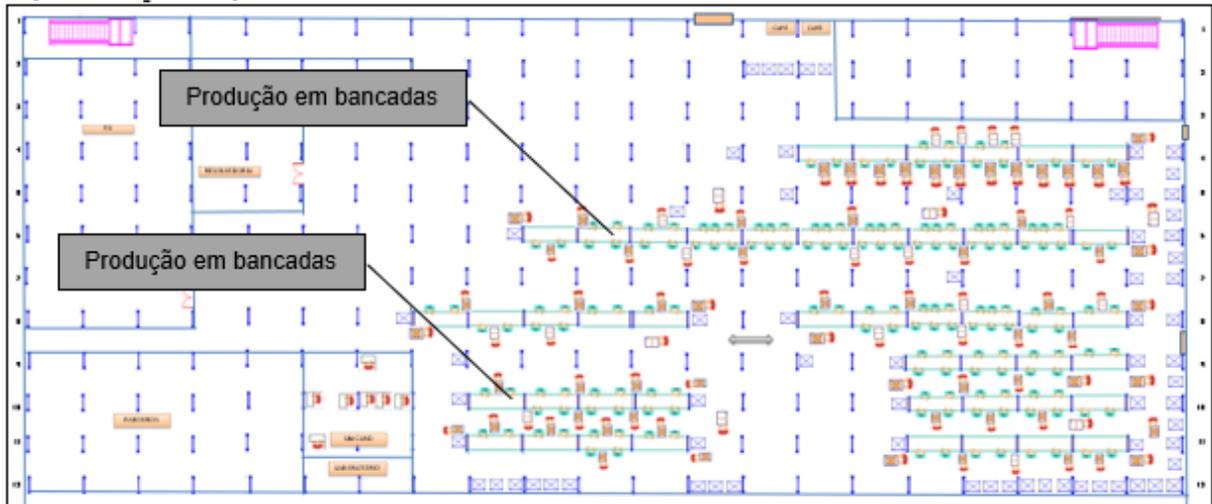
Led vermelho o percentual está abaixo de 20%, sinalizando que a bateria necessita de duas horas de recarga.

O artefato desenvolvido será apresentado no apêndice desta pesquisa.

### **3.6 Estudo do arranjo físico**

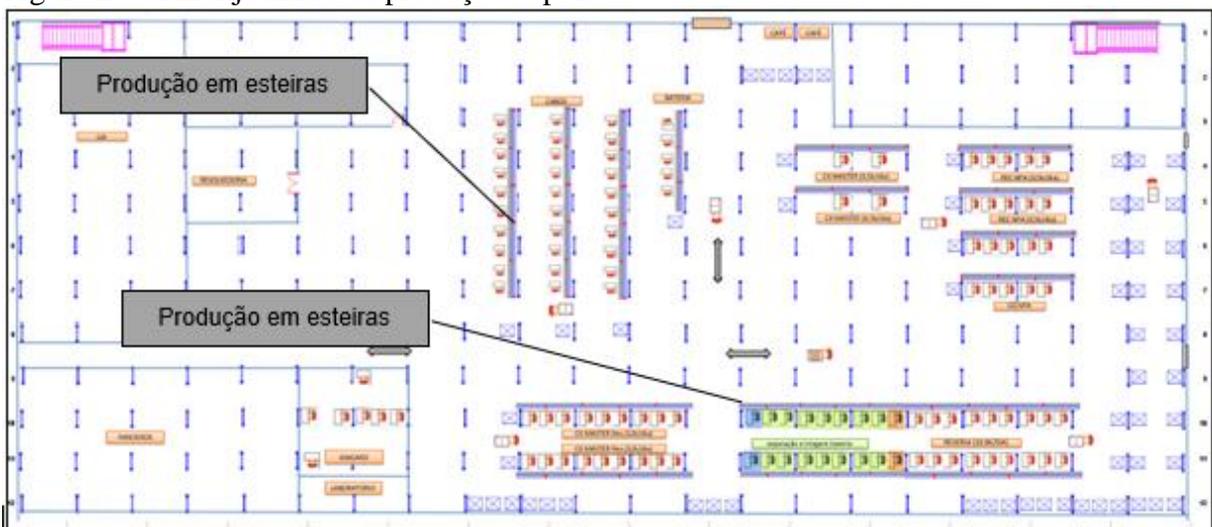
O estudo do arranjo físico começou com a medição da área de produção e implantação das bancadas e demais mobílias em escala. Com o desenho em escala foi possível identificar pontos para melhoria de fluxo cruzado, excesso de movimentação e elevado tempo para o abastecimento das bancadas. Na figura 18 abaixo, nota-se uma aglomeração de bancadas em determinada área dificultando a movimentação dos operadores e repositores de insumos produtivos. Baseado neste ponto de vista, foi levantado a quantidade de movimentações, e distância percorrida para cada repositor, e arranjo físico anotando as distâncias, a frequência e o tempo gasto para as movimentações de materiais. A análise dos dados permitiu identificar oportunidade de ganho com o tempo de movimentação de materiais tanto para abastecimento quanto entre as etapas do processo, proporcionando a idealização de um arranjo adequado ao novo processo implantado apresentado na figura 20.

Figura 19 – Arranjo físico antes



Fonte: Autor

Figura 20 – Arranjo físico da produção depois



Fonte: Autor

### 3.7 Número de operadores

Com a otimização do processo produtivo foi possível reduzir o quadro de funcionários de 233 operadores na fase inicial para 157 na fase final, totalizando 76 operadores representando (33%) demonstrado na figura 21. Os operadores foram transferidos para outras operações gerando redução de aproximadamente R\$ 400.000,00 mensais com mão-de-obra direta.

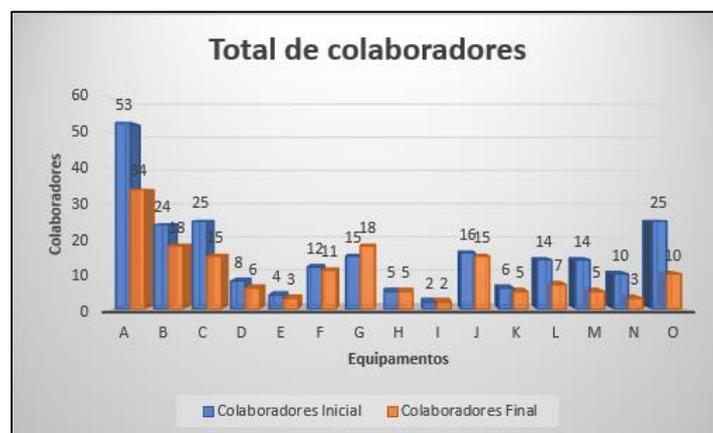
Figura 21 – Quantidade de operadores.

EQUIPAMENTO	OPERADORES	
	INICIAL	FINAL
A	53	34
B	24	18
C	25	15
D	8	6
E	4	3
F	12	11
G	15	18
H	5	5
I	2	2
J	16	15
K	6	5
L	14	7
M	14	5
N	10	3
O	25	10
TOTAL	233	157
REDUÇÃO	33%	

Fonte: Autor

A figura 21 apresenta a quantidade de colaboradores por modelo de equipamento. Nota-se que houve redução da mão de obra na maioria dos modelos, exceto no modelo “G”, único modelo que foi preciso acrescentar uma operação significando três colaboradores para manter o balanceamento da linha.

Figura 22 – Comparativo da quantidade de operadores antes e depois da implantação das melhorias.



Fonte: Autor

### 3.8 Número de operações

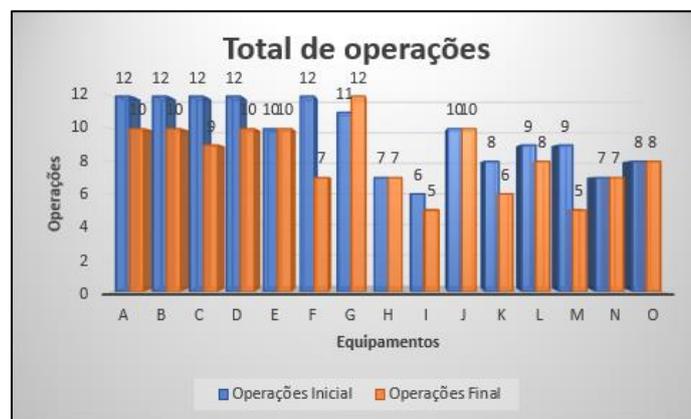
A figura 23 apresenta o detalhamento do número de operações por equipamento e a comparação inicial e final. Para os equipamentos (E, H, J, N e O), a quantidade de operações se manteve; para o equipamento (G), por demandar maior tempo de processo e, para manter o balanceamento calculado, houve acréscimo de uma operação; já nos equipamentos (A, B, C, D, F, I, K, L e M) houve redução de operações significando globalmente 21 operações representando 14% do total de operações.

Figura 23 – Quantidade de operações por equipamento

EQUIPAMENTO	NÚMERO DE OPERAÇÕES	
	INICIAL	FINAL
A	12	10
B	12	10
C	12	9
D	12	10
E	10	10
F	12	7
G	11	12
H	7	7
I	6	5
J	10	10
K	8	6
L	9	8
M	9	5
N	7	7
O	8	8
TOTAL	145	124
REDUÇÃO	14%	

Fonte: Autor

Figura 24 – Comparativo da quantidade de operações antes e depois da implantação das melhorias.

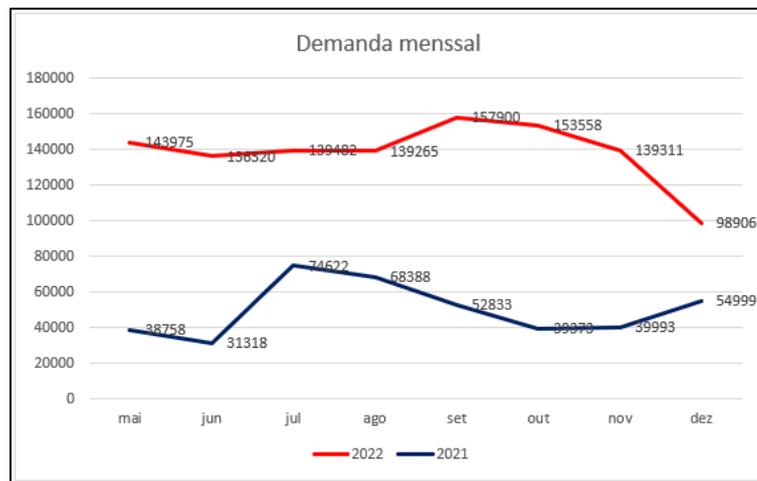


Fonte: Autor

### 3.9 Volume de produção

Paralelamente a alteração do processo produtivo, indicadores de desempenho foram implementados, entre eles: indicador de disponibilidade, performance e OEE. Com a implantação dos indicadores, a produtividade foi monitorada de forma padronizada, proporcionando tomada de decisões assertivas para a melhoria do sistema, tornando possível o cumprimento das metas diárias e gerenciamento dos recursos produtivos. Mediante a estabilização do processo e implantação da filosofia de melhoria contínua, os indicadores foram se estabilizando e projetando uma melhoria contínua do volume mensal produzido, passando de 50 mil unidades mês, registradas no segundo semestre de 2021 para a média de 138 mil obtida no segundo semestre de 2022 como observado na figura a seguir.

Figura 25 – Comparativo 2021 e 2022



Fonte: Autor

### 3.10 Implementação do DFMA

A seleção da metodologia DFMA se deu devido a necessidade de simplificar o processo produtivo, reduzir o custo de produção e otimizar a sequência das atividades.

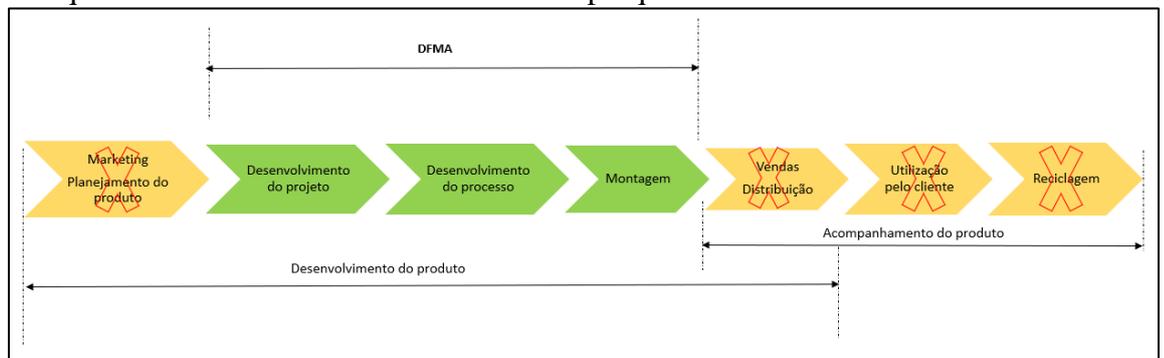
Ao estudar as etapas de produção, foi identificado que algumas delas estavam com o tempo de processo desbalanceado entre os operadores (como citado no capítulo 3.3), ou seja, não havia um tempo padrão a ser adotado como parâmetro entre os operadores, cada operador tinha a sua meta diária estabelecida como padrão.

Além disto, foi verificado que cada operador individualmente, tinha seu método de produzir para obter maior volume de produção diário, o que ocasionava gargalos de posição entre os operadores e, no final do turno, o volume total necessário a ser produzido não era atingido e horas extras eram necessárias para cumprir a meta diária de produção.

Na tentativa de solucionar esta situação, fora implantado um turno adicional iniciando a jornada as 14hs. Estas propostas de solução a princípio apresentaram-se como viáveis. entretanto, ao analisar os custos incorridos e calcular a produtividade, foi constatado esta que não seria economicamente a melhor alternativa.

A aplicação do DFMA foi introduzida na fase de desenvolvimento do projeto do processo produtivo, pois o desenvolvimento do produto é feito pelo fabricante dos equipamentos. A figura 26 apresenta o modelo esquemático em quais fases do desenvolvimento do processo o DFMA será aplicado.

Figura 26 – Sequência das atividades desenvolvidas na pesquisa

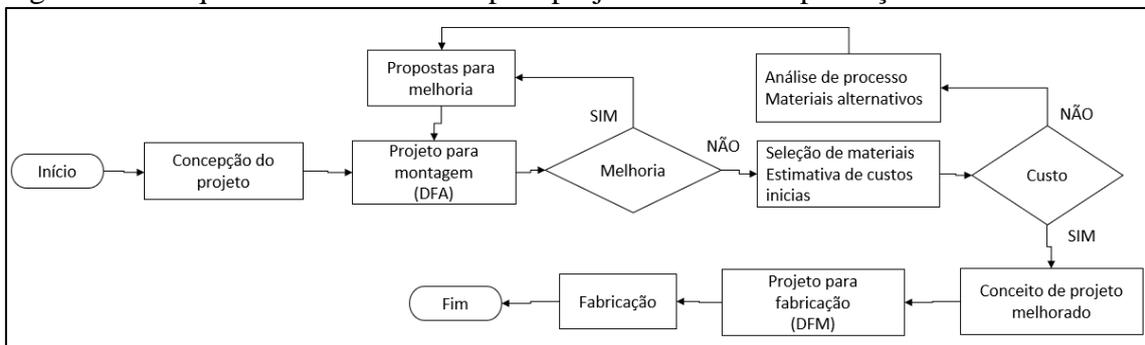


Fonte: Autor

Este procedimento será aplicado para atendimento aos clientes internos, ou seja, todos os setores produtivos. A aplicação do DFMA inicia-se na fase de desenvolvimento do projeto do processo em que semanalmente o grupo de melhoria do processo se reunia para identificação, análise e proposição das melhorias a serem implantadas. Como resultado das reuniões, várias sugestões de melhoria foram propostas e todas foram consideradas plausíveis e analisadas, por vezes necessitando voltar ao início do projeto para rever algum ponto. Em uma fase posterior ao DFA, iniciou-se a seleção dos materiais e processo, permitindo elaborar um custo inicial para implantação. Analisado o custo, o projeto recebeu sugestões de materiais alternativos e economicamente viáveis, gerando uma nova versão do projeto.

Após a análise desta nova versão, iniciou-se a fase de elaboração do projeto para fabricação da linha (detalhadas na figura 27), nesta fase, o projeto foi submetido a uma rigorosa revisão dos processos de fabricação, detalhamento de todos os componentes objetivando minimizar os custos e posteriormente encaminhado para aprovação final da alta direção.

Figura 27 – Sequência das atividades para projeto da linha de produção



Fonte: Autor

Uma vez obtido a aprovação do projeto, deu início ao processo de compra dos materiais e início da fabricação de uma linha piloto onde foi simulado a produção dos equipamentos e verificação dos tempos, permitindo fazer comparações com o processo inicial, validando o processo proposto.

### 3.10.1 Elaboração do projeto da linha de produção

O projeto foi criado com objetivo de ter como principais usuários os colaboradores e os técnicos de processo. A linha de produção escolhida para piloto do projeto, foi aquela que apresentava os maiores ofensores nos indicadores de produtividade, fator primordial para atendimento aos prazos da mesma forma que qualquer outra linha poderia ter sido escolhida para o estudo. As análises buscaram identificar alternativas visando ajustes nas etapas ou na sequência de montagem, eliminando os desperdícios, custo operacional, bem como, reduzir o tempo de ciclo, propondo um processo produtivo otimizado, substituindo as movimentações manuais.

A sequência adotada para a elaboração e construção do projeto da linha produtiva está detalhado abaixo:

- i. Definição de requisitos de uso: Nesta etapa foi definido que a linha a ser projetada deveria proporcionar uma montagem contínua e sem movimentações cruzadas.
- ii. Criação do esboço preliminar: Esboço criado com ajuda de software Autocad.
- iii. Seleção dos materiais: Definido que a linha seria projetada utilizando cantoneiras metálicas, rodízios tipo *flow rack* e as bancadas seriam confeccionadas em madeira MDF revestidas com EVA.

- iv. Projeto preliminar em função dos materiais:
- v. Seleção final dos materiais: Os materiais foram mantidos.
- vi. Protótipo: Implantado em área próxima à produção com as mesmas características de iluminação e restrições de espaço.
- vii. Instalação final: A instalação final foi implantada em etapas acordadas com a produção e planejamento devido não poder interromper o processo dos equipamentos. Optou-se por implantar a primeira linha em uma área previamente liberada, iniciou-se a produção do modelo específico na linha nova e assim sucessivamente, até a completa adequação de todas as linhas produtivas.

A tabela 9 detalha a lista final dos materiais definidos no item “iii” acima.

Tabela 9 – Lista de materiais

Item	Descrição	Valor R\$
1	Trilho roletado 45 kg 3 metros comprimento	889,20
2	Cantoneira abas iguais 5x50x50 galvanizada	777,12
3	Parafuso cabeça sextavada M6 zincado	6,40
4	Porca sextavada M6 zincada	3,88
5	Arruela lisa 6mm zincada	0,70
6	Arruela de pressão 6mm zincada	1,67
7	Painel em MDF natural 15mm	200,00
8	Bobina em EVA 6mm preto	390,00

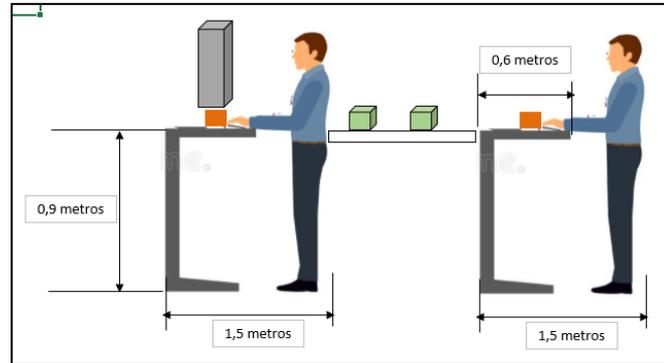
Fonte: Autor

A principal alteração ocorrida no sistema produtivo foi a substituição das bancadas coletivas por postos de trabalho individuais. Os postos foram dimensionados levando em consideração questões ergonômicas conforme NR-17. A quantidade dos postos de trabalho foi determinada com o balanceamento das linhas e modelos. A quantidade das linhas de produção foi determinada analisando as atividades necessárias para cada modelo e agrupamento dos modelos com processo similares; a melhoria e implantação final pode ser observada no desenho do arranjo físico apresentado no capítulo 3.6.

A Figura 28 apresenta o detalhe do posto de trabalho proposto para implementação da

metodologia.

Figura 28 – Posto de trabalho

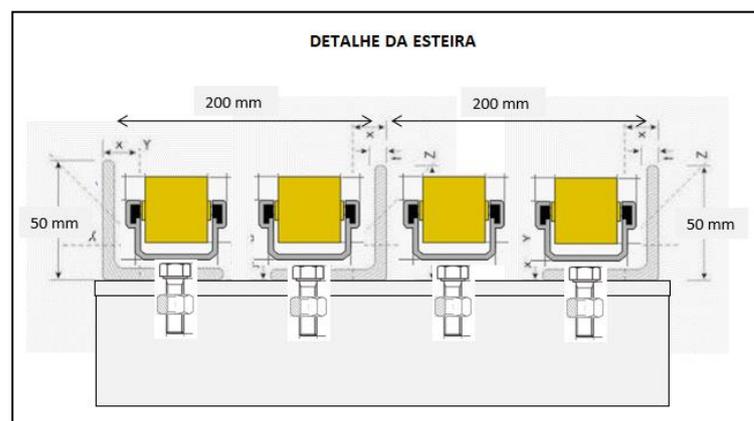


Fonte: Autor

A movimentação dos materiais ao longo da linha produtiva fora alterada de caixas tipo hortifruti por esteira com roletes livre tipo *flow rack* como citado anteriormente. Esta alteração permitiu que o gestor identifique visualmente a formação de gargalo produtivo toda vez que a movimentação é interrompida, demandando de imediata ação para restabelecer a continuidade do fluxo.

A figura 29 traz uma vista detalhada em corte da esteira desenvolvida.

Figura 29 – Detalhe da esteira

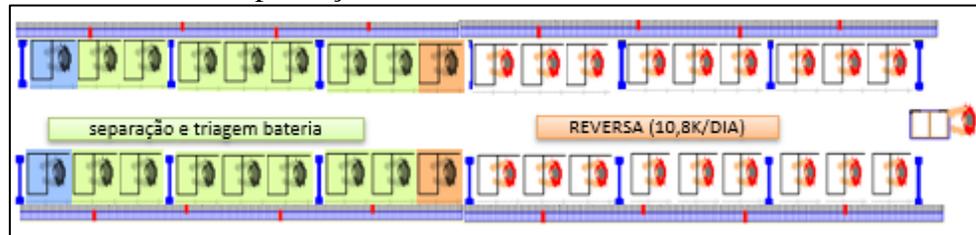


Fonte: Autor

A figura 30 demonstra o novo conceito da linha de produção implementada, onde os postos de trabalho são alinhados em sequência com movimentação dos equipamentos feita por meio de esteiras laterais abastecidas simultaneamente por um único repositor pelo corredor

central. Este modelo foi adotado para todas as demais linhas dos diferentes produtos.

Figura 30 – Detalhe da linha de produção



Fonte: Autor

## CONSIDERAÇÕES

Este trabalho de pesquisa teve como objetivo o desenvolvimento e implantação das linhas de produção, apresentado no Capítulo 3, item 3.10.1 Elaboração do projeto da linha de produção, por meio da utilização da técnica do DFMA visando facilitar a montagem dos equipamentos, reduzindo movimentações e a área ocupada. Face aos resultados obtidos com a implantação do processo produtivo, a empresa obteve um aumento de produtividade e redução dos custos operacionais por oferecer maior velocidade à produção e proporcionar flexibilidade para troca de produto, fato este que proporcionou atender aumento de demanda proposta pelo cliente.

Este modelo de processo produtivo, no qual os materiais são movimentados por esteira de rolete livre e os postos de trabalho padronizados, foi adotado como modelo padrão expandindo o projeto para as demais operações similares na empresa.

No decorrer da pesquisa foi identificado a necessidade de se obter indicadores de produção em tempo real, o que agilizaria o tempo de resposta e unificaria a base de informação. Possível implantação de ferramenta para acompanhamento da produtividade em complemento a esta pesquisa seria relevante para a melhoria contínua do processo.

Para um estudo futuro sugere-se após a estabilização do processo, iniciar os levantamentos e análises para implantação da filosofia *lean six sigma*, uma vez que os indicadores básicos estão implantados e a cultura de produção enxuta está sendo disseminada em toda a camada operacional.

## REFERÊNCIAS

ANTUNES, Junico. **Sistemas de produção: conceitos e práticas para projetos e gestão da produção enxuta**. Bookman Editora, 2009.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Manual de uso da marca pix**. Versão 1.3. 17 set. 2021. Brasília, 2021. Disponível em: [https://www.bcb.gov.br/content/estabilidadefinanceira/pix/Regulamento\\_Pix/manual\\_uso\\_marca\\_pix\\_versao\\_1\\_3.pdf](https://www.bcb.gov.br/content/estabilidadefinanceira/pix/Regulamento_Pix/manual_uso_marca_pix_versao_1_3.pdf). Acesso em: 27 nov. 2022

BARNES, Ralph M. **Estudo de movimentos e de tempos: projeto e medida do trabalho**. Editora Blucher, 1977.

BECH, M. L.; HANCOCK, J. **Innovations in payments**. BIS Quarterly Review, p. 21-36, mar. 2020. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=3561180>. Acesso em: 28 out. 2021.

BOOTHROYD, Geoffrey. Product design for manufacture and assembly. **Computer-Aided Design**, v. 26, n. 7, p. 505-520, 1994.

BORBA, Mirna de. Arranjo físico. **Universidade Federal de Santa Catarina. Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas**, 1998.

SILVA, Elaine Cristina; CAMAROTTO, João Alberto. Contribuições da análise da atividade do trabalho no processo de retorno do trabalhador afastado por LER/DORT. **Revista de Terapia Ocupacional da Universidade de São Paulo**, v. 27, n. 2, p. 131-137, 2016.

CAPES, Produção Técnica, Grupo de Trabalho. 2019. Disponível em: < <https://www.gov.br/capes/pt-br/centrais-de-conteudo/10062019-producao-tecnica-pdf>>. Acesso em 23 mar 2023.

CARMO, H. M. O. DO. Gestão de recebíveis: Uma análise da oferta de maquinetas de cartão para microempreendedores individuais. **Revista Livre de Sustentabilidade e Empreendedorismo**, v. 2, n. 2, p. 28–41, 2017.

CHIN, S. Y. **Utilização da modelagem e simulação para fins de análise comparativa de desempenho entre o arranjo físico funcional e o arranjo físico distribuído**, 2010. Disponível em: Acesso em: 27 nov. 2022

CHWIF, Leonardo; MEDINA, Afonso Celso. **Modelagem e simulação de eventos discretos: teoria & aplicações**. Autores, 2007.

CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C.A. **Administração de Produção e Operações**. 2ª ed. São Paulo: Atlas, 2007.

DRISCOLL, M.O. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 122, p. 318-321, 2002.

DOS SANTOS, Raquel Santana Barbosa; CAJUI, Renan Miguel Felix; DA SILVA, Adriano Maniçoba. Simulação a eventos discretos aplicada à gestão de filas em uma loja de tecidos. **South American Development Society Journal**, v. 6, n. 17, p. 117, 2020.

FERNANDES, Luís Antonio Ferreira; DE CAMPOS, Kamila Amato. SIMULAÇÃO LOGÍSTICA COMO FERRAMENTA DE TOMADA DE DECISÃO EM UM POSTO MÉDICO DE UM CENTRO RELIGIOSO. **South American Development Society Journal**, v. 2, n. 6, p. 01-14, 2017.

FERRARI, Sidney Carlos; MORABITO, Reinaldo. Aplicação de modelos de filas com abandono para análise de congestão em call centers. **Gestão & Produção**, v. 27, n. 1, 2020.

FORBES. **Pagamento com cartão deve atingir 50% do consumo das famílias no Brasil em 2021**. 2021 Disponível em: <https://forbes.com.br/forbes-money/2021/02/pagamento-com-cartão-deve-atingir-50-do-consumo-das-famílias-no-Brasil-em-2021/>. Acesso em: 18 abr .2021.

GAITHER, Norman; FRAZIER, Greg. **Administración de producción y operaciones**. International Thomson, 2000.

GIL, Antonio Carlos. Pós-Graduação-Metodologia-Como Elaborar Projetos de Pesquisa-Cap 2. 2017.

HAYASHI, F. Mobile payments: what's in it for consumers. *Economic Review*, Federal Reserve Bank of Kansas City, v. 97, p. 35-66, 2012. Disponível em: <https://ideas.repec.org/a/fip/fedker/y2012iqip35-66nv.97no.1.html>. Acesso em: 24 out. 2021.

HUANG, Norden Eh. **Hilbert-Huang transform and its applications**. World Scientific, 2014.

JASTI, N. V. K.; SHARMA, A. **International Journal of Lean Six Sigma**, 2014.

JIN, H. W.; DOOLEN, T. L., A comparison of Korean and US continuous improvement projects. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 63, n. 4, p. 384-405, 2014

JÚNIOR, Eudes Luiz Costa. **Gestão do processo produtivo**. Editora Ibpex, 2008.

KRUMENAUER, Fábio Zuchetto et al. Concurrent engineering and DFMA approaches on the development of automotive panels and doors. **Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering**, v. 31, n. 2, p. 690-698, 2008.

LEÃO, L. B.; SOTTO, E. C. S. A EVOLUÇÃO DOS MEIOS DE PAGAMENTO. **Revista Interface Tecnológica**, v. 16, n. 1, p. 221–232, 30 jun. 2019.

LIBRELATO et al., 2014; RAHANI; AL-ASHRAF, 2012). – **Desenvolvimento de Jogo para Simulação de Aprendizagem do Mapa Fluxo de Valor com Materiais Alternativos.**

McKay, J.; MARSHALL, P. The Dual Imperatives of Action Research. **Information Technology & People**, v. 14, n. 1, p. 46-59, 2001. <http://dx.doi.org/10.1108/09593840110384771>

MALLAT, N. **Exploring consumer adoption of mobile payments—a qualitative study. The Journal of Strategic Information Systems**, v. 16, n. 4, p. 413-432, 2007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963868707000480>. Acesso em: 24 out. 2021.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. Técnicas de pesquisa: planejamento e execução de pesquisa; amostragens e técnicas de pesquisa; elaboração, análise e interpretação de dados. In: **Técnicas de pesquisa: planejamento e execução de pesquisa; amostragens e técnicas de pesquisa; elaboração, análise e interpretação de dados.** 2012. p. 277-277.

MARTINS, Petrônio Garcia; LAUGENI, Fernando Piero. Administração da produção. 2005.

MASCARENHAS BISNETO, J. P.; LINS, O. B. D. S. M. Gestão da inovação: uma aproximação conceitual. **Revista Brasileira de Gestão e Inovação**, janeiro/abril 2016.

MATTOS, M. A. B. B. **A verticalização e exclusividade dos arranjos de meios de pagamento brasileiros.** Monografia (Instituto de Economia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, p.7-63, 2017.

MORE, N. K. et al. Design for Manufacture and Assembly (DFMA) Analysis of Burring Tool Assembly. **International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)**, Maharashtra, setembro 2015.

OEE, Efetividade Geral do Equipamento, 2023. Disponível em: < <https://www.oee.com.br> >. Acesso em: 23 mar 2023.

PEINADO, Jurandir; GRAEML, Alexandre Reis. Administração da produção. **Operações industriais e de serviços. Unicenp**, p. 201-202, 2007.

PETRALIA, K.; PHILIPPON, T.; RICE T.; VÉRON, N. Banking disrupted? Financial intermediation in an era of transformational technology. **Geneva Report on the World Economy**, n. 22, p. 1-120, set. 2019. Disponível em: <https://voxeu.org/content/bankingdisrupted-financial-intermediation-era-transformational-technology>. Acesso em: 14 nov. 2021.

PLENTZ, M. **Estudo de caso para melhoria de eficiência produtiva de linha de produção em uma indústria de alimentos.** 2013. 76 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) – Centro Universitário UNIVATES, Lajeado, 2013.

PRADO, Darci. **Teoria das Filas e da Simulação.** Falconi Editora, 2022.

RIBEIRO, G. L. M.; PAES, R. L.; KLIEMANN NETO, F. J. **Aplicação da Metodologia OEE para análise da produtividade do processo de descobertura de carvão mineral em uma mina a céu aberto**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 30., 2010, São Carlos (SP). Anais... Rio de Janeiro: ABREPO, 2010, p. 1-12.

ROBERDS, W. **Payment Systems**. In: DURLAUF, S. N.; BLUME, L. E. (Eds.). The new palgrave dictionary of economics. Palgrave Macmillan, Londres, 2008

RODRIGUES, A. F.; FERRARIN, F. V.; OLESKO, P. G. M. **Implementação de indicador de desempenho OEE em máquina de abastecimento de ar-condicionado automotivo**. 2013. 91 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Industrial Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

SAWAYA, A.; GORAIEB, E.; CRADDOCK, C. A transformação do sistema bancário e a importância de uma reflexão holística. **Brazil Journal**, 02 set. 2021. Disponível em: <https://braziljournal.com/a-transformacao-do-sistema-bancario-e-a-importancia-de-umaprofunda-reflexao-holistica>. Acesso em: 24 out. 2021.

SETH, Dinesh; SETH, Nitin; DHARIWAL, Pratik. Application of value stream mapping (VSM) for lean and cycle time reduction in complex production environments: a case study. **Production Planning & Control**, v. 28, n. 5, p. 398-419, 2017.

SLACK, Nigel et al. **Gerenciamento de Operações e de Processos-: Princípios e práticas de impacto estratégico**. Bookman Editora, 2013.

THE GLOBAL PAYMENTS REPORT. **Tendências Em Pagamentos**. Worldpay, 2021. Disponível em: <https://worldpay.globalpaymentsreport.com/pt/>. Acesso em: 27 nov. 2022

THIOLLENT, Michel. **Metodologia da pesquisa-ação**. Cortez editora, 2022.

TODIĆ, V. et al. Manufacturability of product design regarding suitability for manufacturing and assembly (DFMA). **Journal of production engineering**, v. 16, n. 1, 2012.

## APÊNDICE

APÊNDICE A - Artigo apresentado no XVI Simpósio dos Programas de Mestrado Profissional (SIMPROFI), São Paulo, novembro 2021, sob o título: “**Aplicação da Metodologia DFMA para elaboração de um projeto de melhoria em processo produtivo**”

APÊNDICE B - Artigo acadêmico apresentado no XLI Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP), Foz do Iguaçu, outubro 2021, sob o título: “**Uso de simulação em operação de recarga de baterias na manutenção de máquinas de pagamento**”

APÊNDICE C - Artigo acadêmico apresentado no XXIX Simpósio de Engenharia de Produção (SIMPEP), Bauru, São Paulo, novembro 2022, sob o título: “**Aplicação do lean manufacturing e kaizen em processo produtivo de remanufatura**”

### Artefato desenvolvido

APÊNDICE D - Artefato desenvolvido internamente para verificação do percentual de carga de bateria.

Figura 31 – Giga para seleção de baterias

