

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

William Bruno Soares Rodrigues

**APLICAÇÃO PRÁTICA DO FLEXSIM PARA SIMULAÇÃO DE PROPOSTAS DE
MELHORIA EM PROCESSO PRODUTIVO:** Aplicação em processo de produção de
placas para lava louças

MANAUS – AM

2023

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

William Bruno Soares Rodrigues

**APLICAÇÃO PRÁTICA DO FLEXSIM PARA SIMULAÇÃO DE PROPOSTAS DE
MELHORIA EM PROCESSO PRODUTIVO: Aplicação em processo de produção de
placas para lava louças**

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

Orientador(a): Profa. Me. Rejane Gomes Ferreira.

MANAUS – AM

2023

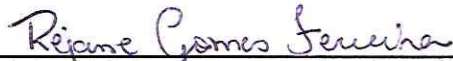
WILLIAM BRUNO

**APLICAÇÃO PRÁTICA DO FLEXSIM PARA SIMULAÇÃO DE PROPOSTAS
DE MELHORIA EM PROCESSO PRODUTIVO: APLICAÇÃO EM PROCESSO
DE PRODUÇÃO DE PLACAS PARA LAVA-LOUÇAS**

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

Data de aprovação: Manaus (AM), 31 de agosto de 2023.

Banca examinadora:



Prof. Me. Rejane Gomes Ferreira - Orientadora
Universidade do Estado do Amazonas



Prof. Dra. Renata da Encarnação Onety - Avaliadora
Universidade do Estado do Amazonas



Prof. Me. Carly Pinheiro Trindade – Avaliador
Universidade do Estado do Amazonas

AGRADECIMENTOS

Queridos Deus, familiares, amigos e professores, com grande satisfação e gratidão, gostaria de expressar meus mais profundos agradecimentos a cada um de vocês pelo apoio inestimável durante a jornada da minha pesquisa e escrita do meu Trabalho de Conclusão de Curso.

Em primeiro lugar agradeço a Deus pois sem ele não teria forças e a presença de pessoas incríveis em minha vida que me apoiaram nessa jornada.

À minha família, vocês foram minha base sólida em todos os momentos. Suas palavras de incentivo, paciência e compreensão foram o que me deu forças para continuar mesmo nos momentos desafiadores.

Aos meus amigos, Camila, Chaenny, Fernanda, Giovanna, Joyce, Katlen, Lorena, Lucas, Maurício, Naelton, Nicole, Patricia, Paula, Silvia, vocês iluminaram os dias mais intensos com risos e momentos de descontração. Obrigado por entenderem os momentos em que precisei me ausentar e por sempre estar ao meu lado, mesmo quando a vida estava agitada. Suas mensagens de encorajamento foram como raios de sol em dias nublados.

Aos meus professores, Roberto Higino, Alessandro Bezerra, Nadja Cabete, Rejane Ferreira e Francisco Paiva agradeço por sua orientação perspicaz e conhecimento profundo. Suas sugestões críticas e direcionamento foram fundamentais para moldar meu trabalho em direção à excelência. Cada conversa e feedback contribuíram para o meu crescimento acadêmico e pessoal.

A todos vocês, quero reiterar que esta conquista não teria sido possível sem a presença de cada um em minha vida. Seja um conselho ou uma palavra gentil, cada gesto fez diferença. Este TCC não é apenas o meu trabalho, mas também um reflexo do apoio coletivo e amor que me rodeia.

Espero poder retribuir tudo o que recebi, e compartilhar muitas mais conquistas com vocês no futuro. Meu sincero agradecimento por tudo.

Com carinho e gratidão, William Rodrigues.

RESUMO

A simulação computacional de processos é uma ferramenta com o potencial de gerar uma grande redução de custos operacionais, visto que a mesma possibilita modelar um processo em ambiente controlável, propor modificações e analisar resultados, sem ser necessário realizar alterações na estrutura real do processo. Neste trabalho, buscou-se propor cenários produtivos por meio da simulação com o FlexSim com o intuito de aumentar a capacidade produtiva, eliminar gargalos de produção e reduzir desperdícios de matéria prima para a produção de placas eletrônica de lava-louças em uma empresa localizada no Polo Industrial de Manaus/AM, identificar o melhor cenário proposto a partir da utilização simulação computacional com o software FlexSim. Foram coletados dados referentes ao processo de produção atual. O modelo computacional construído foi verificado e validado com sucesso em comparação com dados do processo real. Através dos resultados obtidos pela simulação computacional foi possível identificar o melhor cenário proposto.

Palavras-Chave: Simulação, Processo Produtivo, *FlexSim*, Capacidade Produtiva.

ABSTRACT

Computer process simulation is a tool with the potential to generate a large reduction in operational costs, as it makes it possible to model a process in a controllable environment, propose modifications and analyze results, without having to make changes to the actual structure of the process. In this work, we sought to propose production scenarios through simulation with FlexSim with the aim of increasing production capacity, eliminating production bottlenecks and reducing waste of raw materials for the production of electronic dishwasher boards in a company located in Manaus/AM Industrial Hub, identify the best-proposed scenario using computer simulation with the FlexSim software. Data regarding the current production process was collected. The constructed computational model was successfully verified and validated against real process data. Through the results obtained by the computer simulation, it was possible to identify the best-proposed scenario.

Keywords: Simulation, Production Process, FlexSim, Production Capacity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxo da simulação	35
Figura 2 – Fluxograma de processo	37
Figura 3 – Fluxograma do processo atual	38
Figura 4 – PCI POWER ALFA	38
Figura 5 – Máquina de solda wave	41
Figura 6 – Pallet de solda	41
Figura 7 – Máquina robô de aplicação de resina	42
Figura 8 – Forno de refusão	42
Figura 9 – Fluxograma de processo atual	44
Figura 10 – Fluxograma de processo cenário 1	46
Figura 11 – Fluxograma de processo cenário 2	50
Figura 12 – Simulação FlexSim do cenário 1	52
Figura 13 – Simulação FlexSim do cenário 2	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tempos das atividades do cenário real	48
Tabela 2 – Tempos das atividades do cenário 1	51
Tabela 3 – Tempos das atividades do cenário 2	53
Tabela 4 – Vantagens e desvantagens do cenário 1	55
Tabela 5 – Vantagens e desvantagens do cenário 2	55
Tabela 6 – Comparativo de resultados	56

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA.....	11
1.2 HIPÓTESES	12
1.3 JUSTIFICATIVA.....	12
1.4 OBJETIVOS.....	12
1.4.1 Objetivo Geral	12
1.4.2 Objetivos Específicos	13
1.5 LIMITAÇÃO DO ESTUDO	13
1.6 ESCOPO DO ESTUDO	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1 ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO E OPERAÇÕES	14
2.2 PLANEJAMENTO, PROGRAMAÇÃO E CONTROLE DA PRODUÇÃO.....	15
2.3 EVOLUÇÃO DA INDÚSTRIA.....	16
2.4 PILARES DA INDÚSTRIA 4.0.....	17
2.5 GESTÃO DE PROCESSOS E A TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO	18
2.6 MODELAGEM DOS PROCESSOS.....	19
2.7 SIMULAÇÃO DE PROCESSOS	20
2.7.1 Modelos de Simulação	21
2.7.2 Vantagens	23
2.7.3 Desvantagens	23
2.7.4 Riscos	24
2.8 FLEXSIM	24
2.8.1 Riscos Características do FlexSim	25
2.8.2 Funcionalidades e Aplicações do FlexSim	25
2.9 TAKT TIME	26
2.10 CAPACIDADE DE PRODUÇÃO	27
2.11 BALANCEAMENTO DE LINHAS DE PRODUÇÃO	28
2.11.1 Etapas do Balanceamento de Produção	29
2.12 ANÁLISE DE TEMPOS E MÉTODOS.....	30
2.13 TRATAMENTO DE DADOS.....	31
3 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO	33
3.1 TIPO DE PESQUISA	33
3.2 COLETA DE DADOS	33
3.3 REALIZAÇÃO DE BALANCEAMENTO DE ATIVIDADES.....	34
3.4 USO DO FLEXSIM PARA A SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS PROPOSTOS	34

4 APLICAÇÃO DO ESTUDO DE CASO PRELIMINAR	36
4.1 DESCRIÇÃO DO CENÁRIO PRELIMINAR.....	36
4.1.1 Perfil da Empresa	36
4.1.2 Processo de Produção do PCI POWER ALFA	36
4.2 LEVANTAMENTO DE DADOS DE PRODUTO E PROCESSO	37
4.2.1 Descrição do Produto	37
4.2.2 Descrição de Etapas do Processo	37
4.2.3 Coleta de Dados	39
4.3 ANÁLISES DE MÁQUINAS	40
4.3.1 Máquina de Solda Wave	40
4.3.2 Máquina Robô de Aplicação de Resina	40
4.3.3 Forno de Refusão	41
4.4 ANÁLISE PRELIMINAR DE SUBSTÂNCIAS	41
4.4.1 Solda Tin-Lead	41
4.4.2 Fluxo NC215	42
4.4.3 Resina Polimérica	43
4.5 PROPOSTA PRELIMINAR DE CENÁRIOS	43
4.5.1 Cenário 1 – Máquina Robô de Aplicação de Resina Utilizando Resina Padrão ...	43
4.5.2 Cenário 2 – Máquina Robô de Aplicação de Resina Utilizando Resina Alternativa	45
4.6 SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS POR MEIO DO FLEXSIM	46
4.6.1 Simulação Cenário Atual	46
4.6.2 Simulação Cenário 1 – Máquina Robô de Aplicação de Resina Utilizando Resina Padrão	49
4.6.3 Simulação Cenário 2 – Máquina Robô de Aplicação de Resina Utilizando Resina Alternativa	51
4.7.1 Inovações em Relação ao Cenário Atual	53
4.7.2 Vantagens e Desvantagens dos Cenários Propostos	53
5 CONCLUSÕES	54
5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	56
REFERÊNCIAS	57

1 INTRODUÇÃO

A simulação e a modelagem vêm sendo utilizadas amplamente em diversas áreas, já que são ferramentas poderosas que permitem a criação de um sistema computacional sem a necessidade de alteração do sistema físico real, possibilitando analisar o sistema como um todo, o que implica em desenvolvimento de sistemas produtivos cada vez mais eficientes (CHWIF E MEDINA, 2010; SAMPAIO; OLIVEIRA, 2013).

Ao utilizar a simulação, o esperado é que sejam geradas propostas que sirvam de apoio à tomada de decisões, buscando sempre a organização do sistema em análise. O modelo de simulação busca a representação do comportamento próximo do real no sistema, porém deve haver a preocupação em evitar uma complexidade maior que a do próprio sistema, o que acabaria gerando um problema maior a ser resolvido que a do próprio sistema em análise (BANKS; CHWIF 2010). Por meio da modelagem e simulação de sistemas, é possível identificar as possíveis falhas na produção, desta forma, medidas corretivas podem ser tomadas para melhor efetividade do sistema, além de fornecer uma visão sistêmica de todo o processo envolvido (CARNEIRO; PINTO, 2010).

O *software FlexSim*, é uma poderosa ferramenta de modelagem e simulação, a qual foi utilizada como ferramenta para o desenvolvimento desta pesquisa. O software tem sua principal utilização em áreas de projetos de otimização de armazéns, logísticas e melhorias em processos de produção. A área em que a utilização do *software FlexSim* se aplica nessa pesquisa é a de melhoria em processo de produção, especificamente em uma linha de produção de placas eletrônicas de lava-louças. A finalidade do estudo é criar e simular possíveis cenários de produção, que sirvam de base para a realização de uma análise prévia da viabilidade de mudança em um processo de produção já existente, considerando automação de atividades e utilização de matéria prima alternativa, visando o aumento da capacidade produtiva, reduções de mão de obra direta e de perdas de matéria prima.

Para a criação do cenário, foi realizada a coleta de dados do processo produtivo atual por meio de documentações já existentes, realizando análise *in loco* de tempos e métodos considerando as limitações do processo. Entendido os problemas e características dos cenários, posteriormente é realizada a modelagem computacional dos cenários propostos usando o *software Flexsim*. O estudo aqui apresentado trata de um estudo de caso empírico, de caráter quantitativo descritivo.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

O processo de produção de PCIs (Placas de Circuito Impresso) para lava-louças possui limitações em sua capacidade produtiva atual devido a presença de atividades manuais e as características de um de seus principais insumos, a resina polimérica. Utilizando a simulação de processo quais serão possibilidades existentes

de aumento da capacidade e produtividade na linha de produção de lava-louças e quais os impactos de cada uma dessas soluções?

1.2 HIPÓTESES

- **Hipótese 1:** A simulação proporcionará um cenário em que haverá redução de colaboradores no processo e um aumento da capacidade produtiva;
- **Hipótese 2:** A simulação do cenário com menor utilização de colaboradores indicará que a capacidade será menor ou igual a capacidade já existente;
- **Hipótese 3:** A simulação proporcionará um cenário em que a troca de matéria prima impactará positivamente na capacidade produtiva;
- **Hipótese 4:** A simulação do cenário onde há troca de matéria prima indicará que o impacto dessa troca será negativo para a capacidade produtiva.

1.3 JUSTIFICATIVA

Na Engenharia de Produção, o uso da simulação é fundamental para os Sistemas de Apoio à Decisão, pois é possível encontrar gargalos e fontes que geram erros, problemas ou desperdícios ao processo e, de acordo com o resultado gerado, sugere aos tomadores de decisão alternativas de melhoria. Muitos destes conceitos podem ser encontrados nos trabalhos de Bateman *et al.* (2013), Zhu *et al.* (2014), Miguel (2011) e Corrêa *et al.* (2001).

Alguns trabalhos relacionados à simulação estudam alguma parte do processo produtivo, seja na produção ou na distribuição do produto acabado. Neste estudo, foi modelado o processo produtivo de placas eletrônicas para máquinas lava louças em uma empresa que tem como segmento o ramo de manufatura e o objetivo do estudo é analisar propostas de melhoria para processo com o objetivo de aumentar a capacidade e produtividade, utilizando o *software* de simulação *FlexSim*.

Como as propostas de melhoria para o processo produtivo exigem investimentos na aquisição de máquinas e na substituição de matéria prima, o trabalho teve papel importante não só para justificar os investimentos necessários, mas também na criação de dados base para a simulação de produção de novos produtos que possuam as mesmas características.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo Geral

Verificar por meio dos resultados obtidos pelo uso da simulação qual cenário proposto irá gerar os melhores resultados a nível de aumento de capacidade e produtividade e redução em perdas de matéria prima.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Realizar a simulação do cenário atual: processo atual utilizando resina padrão;
- Realizar a simulação do primeiro cenário proposto: processo atual utilizando resina alternativa;
- Realizar a simulação do segundo cenário proposto: atividades manuais substituídas por automação e utilização da resina padrão;
- Realizar a simulação do terceiro cenário proposto: atividades manuais substituídas por automação e utilização da resina alternativa.

1.5 LIMITAÇÃO DO ESTUDO

Os dados referentes ao uso de máquina em substituição às atividades manuais e sobre o uso de resina alternativa foram coletados com base em linhas pilotos com *output* médio de 50 placas.

1.6 ESCOPO DO ESTUDO

O conteúdo presente em cada capítulo seguinte é brevemente descrito abaixo:

- **Capítulo 2:** Apresenta o referencial teórico necessário para o desenvolvimento da dissertação e uma revisão de literatura sobre trabalhos semelhantes. Neste capítulo, disserta-se sobre simulação de eventos discretos, análise de tempos e métodos, o *software* de simulação *Flexsim* e tratamento de dados;
- **Capítulo 3:** Explica a metodologia que foi utilizada no trabalho e mostra o estudo de tempos realizado;
- **Capítulo 4:** Apresenta as etapas de construção do modelo de simulação, coleta de dados e testes de aderência para os tempos coletados;
- **Capítulo 5:** Contém os principais resultados e uma análise comparativa entre os cenários simulados.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será desenvolvida a fundamentação teórica que embasa este trabalho, nas quais serão abordados tópicos relacionados à área de estudo através da abordagem de autores que discorrem sobre a administração da produção e

operações, planejamento, programação e controle da produção, medidas de desempenho, produtividade, Indústria 4.0 e suas ferramentas de simulações nos processos.

2.1 ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO E OPERAÇÕES

A administração da produção e operações é um campo essencial no âmbito da gestão empresarial, cujo propósito é direcionar, coordenar e controlar os processos produtivos e operacionais visando à eficiência, qualidade e satisfação do cliente (SLACK *et al.*, 2019). Esse domínio abarca uma ampla gama de atividades, desde a concepção do produto até sua entrega final, tendo como foco primordial a otimização dos recursos disponíveis (CHASE *et al.*, 2018).

Uma das premissas centrais da administração da produção e operações é assegurar a entrega eficaz de produtos ou serviços que atendam de maneira efetiva às necessidades e expectativas dos clientes (JACOBS; CHASE, 2021). Isso engloba o gerenciamento dos fluxos de produção, a alocação criteriosa de recursos, o controle da qualidade e a coordenação das operações, com o intuito de minimizar desperdícios e maximizar a eficiência operacional (SLACK *et al.*, 2019).

A gestão da cadeia de suprimentos é um pilar fundamental dentro da administração da produção e operações, envolvendo o planejamento e a coordenação de atividades para garantir o fornecimento oportuno, nas quantidades adequadas e nos locais necessários, dos materiais indispensáveis aos processos produtivos (BALLOU, 2017). Esta abordagem não somente mantém a fluidez das operações, mas também contribui para a redução de custos e o aumento da agilidade empresarial (JACOBS; CHASE, 2021).

Nesse cenário, a tecnologia assume uma função crescente na administração da produção e operações. Sistemas de Planejamento de Recursos Empresariais (ERP), automação industrial e análise de dados têm se mostrado imprescindíveis para aprimorar os processos, facilitar a tomada de decisões e proporcionar uma visão abrangente de todas as etapas da cadeia produtiva (STADLER *et al.*, 2020).

Adicionalmente, a busca pela qualidade total figura como um componente crucial na administração da produção e operações. A implementação de metodologias como o Sistema Toyota de Produção, Seis Sigma e outras ferramentas de melhoria contínua almeja erradicar defeitos, reduzir variações e aperfeiçoar os processos a fim de garantir produtos e serviços de elevada qualidade (SLACK *et al.*, 2019).

A perspectiva da sustentabilidade também ganha destaque na administração da produção e operações. A otimização dos processos precisa considerar, de maneira imperativa, a responsabilidade ambiental, a utilização eficiente dos recursos naturais e a mitigação dos impactos ambientais decorrentes das atividades (CRAIGHEAD *et al.*, 2021).

Em síntese, a administração da produção e operações configura-se como um domínio multifacetado e estratégico, visando aprimorar a eficiência, a qualidade e a agilidade dos processos produtivos e operacionais. Por meio da maximização do valor entregue ao cliente e da otimização dos recursos utilizados, essa área exerce uma função vital na competitividade e no sucesso das empresas em variados segmentos.

2.2 PLANEJAMENTO, PROGRAMAÇÃO E CONTROLE DA PRODUÇÃO

O Planejamento, Programação e Controle de Produção (PPCP) consiste em um conjunto de práticas estratégicas e operacionais cruciais para a gestão eficiente dos processos produtivos de uma organização (SLACK *et al.*, 2019). Seu propósito principal é otimizar a alocação de recursos disponíveis, assegurando a produção de bens e serviços de forma eficaz, dentro dos prazos estipulados e com alta qualidade.

A fase inicial do PPCP é o planejamento, na qual se definem metas de produção, alocação de recursos, projeções de demanda e estratégias para atingir os objetivos organizacionais (CHOPRA; MEINDL, 2016). Nesse estágio, tomam-se decisões relacionadas a quais produtos serão fabricados, em que quantidades e como se dará a sequência das atividades.

A programação, etapa subsequente, materializa as decisões estratégicas em um cronograma operacional detalhado (MONKS; CURRAN, 2020). Ela abrange a alocação precisa de recursos, como mão de obra, máquinas e materiais, às atividades produtivas, levando em conta tanto a capacidade da empresa quanto as demandas do mercado. Aspectos como tempos de configuração, processamento e espera também são considerados.

O controle de produção completa o ciclo do PPCP. Concentrando-se na monitorização e comparação do desempenho real com o planejado, essa etapa identifica desvios e adota medidas corretivas quando necessário (JACOBS; CHASE, 2021). Ela abrange o acompanhamento das etapas produtivas, a detecção de gargalos, a gestão de estoques e a avaliação da qualidade dos produtos finais.

Uma abordagem eficaz de PPCP é fundamental para a competitividade organizacional. Ela viabiliza a otimização dos recursos, a redução de custos, o aumento da produtividade e a melhor satisfação das demandas dos clientes (OLIVEIRA; SACOMANO NETO, 2020). Além disso, o PPCP auxilia na minimização do desperdício, na maximização da utilização dos ativos e no reforço da agilidade da empresa frente às oscilações do mercado.

A adoção de tecnologias como sistemas de gestão integrada (ERP), simulações computacionais e análise de dados tem transformado o PPCP em uma disciplina mais precisa e ágil (CÔRTES *et al.*, 2018). Elas proporcionam uma visibilidade aprimorada dos processos, projeções mais precisas e bases sólidas para decisões embasadas em informações concretas.

Em resumo, o Planejamento, Programação e Controle de Produção emerge como uma abordagem estratégica e tática de suma importância para a gestão eficiente dos processos produtivos (SLACK *et al.*, 2019). Por interligar o planejamento

à programação e ao controle, as organizações podem conquistar um processo produtivo mais eficiente, minimizar riscos e almejar seus objetivos de forma coesa.

2.3 EVOLUÇÃO DA INDÚSTRIA

A evolução da indústria ao longo do tempo tem sido uma demonstração notável da capacidade humana de inovação e adaptação, moldando a sociedade, a economia e a dinâmica laboral (HOBSBAWM, 1996). Desde as primeiras revoluções industriais até a era contemporânea, o setor industrial passou por transformações marcantes que impactaram diversos aspectos da vida moderna.

A Primeira Revolução Industrial, desencadeada no final do século XVIII, foi caracterizada pela mecanização da produção impulsionada pela invenção da máquina a vapor. Isso levou à transição da produção artesanal para a manufatura em larga escala, promovendo eficiência e urbanização (MANTOUVALOU, 2007).

A Segunda Revolução Industrial, ocorrida no final do século XIX e início do século XX, introduziu avanços como eletrificação, produção em massa e a expansão das linhas de montagem. Nesse período, emergiram indústrias automobilísticas, comunicações em larga escala e produção massiva de bens de consumo (LANDES, 2003).

A Terceira Revolução Industrial, conhecida como Revolução Digital, teve início no final do século XX, com o advento da tecnologia da informação e automação. A computação, a internet e a robótica redefiniram operações industriais, favorecendo maior eficiência e personalização (RIFKIN, 2011).

Atualmente, vivenciamos a Quarta Revolução Industrial, ou Indústria 4.0, marcada pela convergência de tecnologias como inteligência artificial, internet das coisas, impressão 3D e análise de dados (SCHWAB, 2016). Nesse cenário, as fábricas inteligentes emergem, com processos altamente automatizados e interconectados, potencializando agilidade e flexibilidade na produção (KAGERMANN *et al.*, 2013).

A par da evolução tecnológica, a indústria também se volta para questões de sustentabilidade e responsabilidade social. A busca por práticas mais eficientes e menos prejudiciais ao meio ambiente tem impulsionado avanços em energias renováveis, reciclagem e produção sustentável (PORTER; VAN DER LINDE, 1995).

Ademais, essa evolução industrial também modela as dinâmicas de trabalho. A automação, embora traga eficiência, também levanta questões sobre o futuro do emprego e a necessidade de adaptação da força de trabalho (FREY; OSBORNE, 2017).

Em síntese, a evolução da indústria constitui uma jornada contínua de inovação e transformação, influenciando áreas amplas da sociedade. Das raízes da mecanização até a era da automação inteligente, a indústria continua a moldar o mundo, apontando para um futuro repleto de oportunidades e desafios (SMIL, 2005).

2.4 PILARES DA INDÚSTRIA 4.0

A Indústria 4.0, um paradigma central na contemporânea transformação industrial, é caracterizada pela integração avançada de tecnologias digitais, físicas e virtuais nos processos de produção (KAGERMANN *et al.*, 2013). Essa revolução industrial moderna repousa sobre quatro pilares fundamentais que sustentam sua operacionalização e impacto na indústria global. São eles:

- **Conectividade:** A conectividade emerge como um dos pilares mais distintivos da Indústria 4.0. Essa dimensão engloba a interconexão de máquinas, sistemas, processos e até mesmo produtos por meio da Internet das Coisas (IoT) e da Internet Industrial das Coisas (IIoT) (LEE *et al.*, 2015). Dispositivos e sensores inteligentes coletam e compartilham dados em tempo real, possibilitando uma comunicação eficaz entre os diversos componentes da cadeia de produção. Isso, por sua vez, habilita um monitoramento contínuo das operações e embasa a tomada de decisões embasada em informações atualizadas.
- **Dados e Análises Avançadas:** A coleta extensiva de dados é intrínseca à Indústria 4.0. No entanto, o verdadeiro valor reside na análise desses dados. Por meio da aplicação de análises de dados, inteligência artificial e aprendizado de máquina, as organizações podem extrair insights valiosos dos dados coletados (YAO *et al.*, 2018). Esses insights orientam a otimização dos processos, a identificação antecipada de falhas e a tomada de decisões mais embasadas, contribuindo significativamente para a eficiência operacional.
- **Automação Inteligente:** A automação figura como um pilar central da Indústria 4.0, mas transcende a mera substituição de recursos humanos por máquinas (MARODIN *et al.*, 2017). A automação inteligente abarca a integração de sistemas autônomos e robôs colaborativos capazes de realizar tarefas complexas e adaptar-se a variadas situações. A flexibilidade intrínseca a esses sistemas fomenta uma produção mais customizada e ágil, ao mesmo tempo que eleva os níveis de segurança e precisão nas operações.
- **Descentralização da Decisão:** A descentralização das decisões se erige como um conceito primordial na Indústria 4.0. Baseadas nos dados coletados e analisados, as decisões podem ser tomadas mais próximo ao local onde são requeridas. Isso agiliza as respostas às oscilações do mercado ou das operações, conferindo maior autonomia aos sistemas de produção. A descentralização, além disso, engendra maior eficácia ao prevenir gargalos decorrentes de decisões centralizadas.

A sinergia entre esses pilares culmina em um ambiente industrial profundamente adaptável, eficiente e orientado por dados. A Indústria 4.0 habilita as organizações a conquistar maior flexibilidade produtiva, aprimorar a qualidade, reduzir custos operacionais e responder de forma mais ágil às flutuações do mercado. Ancoradas nos quatro pilares da Indústria 4.0, as empresas estão posicionadas para se destacarem em um cenário competitivo global constantemente em transformação.

2.5 GESTÃO DE PROCESSOS E A TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO

A integração da gestão de processos com a tecnologia da informação (TI) configura-se como um enfoque essencial para aprimorar a eficiência, qualidade e agilidade das operações corporativas (HAMMER; CHAMPY, 1994). Essa sinergia visa alinhar os objetivos organizacionais com as potencialidades tecnológicas, viabilizando a automatização, monitoramento e aperfeiçoamento contínuo dos processos.

A gestão de processos engloba etapas como análise, modelagem, implementação, monitoramento e melhoria constante dos fluxos de trabalho da organização (DAVENPORT, 1993). Nesse contexto, a TI desempenha um papel vital ao prover sistemas e ferramentas que facilitam cada uma dessas fases (HARMON, 2015). A conjunção destes domínios culmina em maior eficiência operacional, redução de custos, ampliação da qualidade e, por conseguinte, a satisfação do cliente.

A automação figura como um dos principais benefícios decorrentes da convergência entre TI e gestão de processos. A automatização de tarefas manuais ou repetitivas por meio de sistemas computacionais não somente minimiza erros e tempos de execução, mas também libera recursos humanos para atividades mais estratégicas e inovadoras (VOM BROCKE *et al.*, 2014). Sistemas de gerenciamento de fluxo de trabalho e softwares de automação são ilustrações de ferramentas que viabilizam essa automação.

A tecnologia também viabiliza o monitoramento em tempo real dos processos (ROSEMANN; VOM BROCKE, 2015). Utilizando sensores, dispositivos móveis e análise de dados, as organizações podem adquirir informações detalhadas sobre o desempenho dos processos, permitindo a identificação precoce de problemas e a tomada de decisões baseadas em dados concretos, fomentando uma abordagem proativa na gestão.

Outro domínio influenciado pela TI é a análise de dados. Ferramentas de análise e visualização permitem extrair insights valiosos dos dados coletados, desvendando padrões, tendências e oportunidades de melhoria (LAUDON; LAUDON, 2016). Isso empodera as organizações a tomar decisões mais embasadas e a direcionar seus esforços de otimização de maneira mais precisa.

Porém, é válido destacar que a adoção da tecnologia na gestão de processos demanda um enfoque estratégico e um planejamento sólido. A seleção das ferramentas apropriadas, a integração de sistemas e o desenvolvimento das competências da equipe são etapas cruciais para garantir que a tecnologia efetivamente contribua para aprimorar os processos (HASHEMI *et al.*, 2018).

Em síntese, a conjugação da gestão de processos com a tecnologia da informação revela-se como uma potente abordagem para otimizar as operações empresariais. A automatização, monitoramento em tempo real, análise de dados e a facilitação da colaboração são apenas alguns exemplos das formas pelas quais a TI pode impulsionar a eficiência e eficácia dos processos, culminando em um aprimoramento geral do desempenho organizacional.

2.6 MODELAGEM DOS PROCESSOS

A modelagem de processos representa uma abordagem crucial para a compreensão, análise e otimização das operações organizacionais (SILVA, 2018). Esse método envolve a representação visual e descritiva dos fluxos de trabalho, atividades, interações e decisões inerentes a um determinado processo (ALMEIDA, 2019). De acordo com Gonçalves *et al.* (2020), a modelagem de processos oferece uma perspectiva valiosa para aprimorar a eficiência, a qualidade e a agilidade das atividades empresariais.

Conforme ressalta Souza (2017), a modelagem de processos oferece diversas vantagens essenciais. Em um primeiro momento, proporciona uma visão detalhada das operações, identificando pontos de ineficiência, gargalos e possíveis fontes de erro (PEREIRA, 2021). Dessa forma, essa abordagem permite a identificação de oportunidades para otimização, automação e reestruturação dos processos, contribuindo para a melhoria da eficiência operacional (MARTINS, 2019).

Um dos aspectos significativos da modelagem de processos é a facilitação da comunicação entre os membros da equipe e as partes interessadas (OLIVEIRA, 2020). Utilizando notações padronizadas, como a BPMN (*Business Process Model and Notation*), os envolvidos podem compreender de maneira mais precisa as etapas, os papéis e as interações no processo (RODRIGUES, 2018). Isso reduz mal-entendidos e promove uma colaboração mais eficaz (SANTOS, 2016).

De acordo com Santos *et al.* (2019), a modelagem de processos também oferece uma base sólida para análise e melhoria contínua. Ao coletar dados das representações dos processos, é possível medir métricas-chave, como tempo de ciclo, taxa de erro e custos (FERREIRA, 2022). Essas métricas, segundo Lima (2017), são fundamentais para embasar decisões informadas sobre mudanças e melhorias nos processos.

Existem diversas abordagens e ferramentas disponíveis para a modelagem de processos (COSTA, 2018). Alguns preferem diagramas de fluxo simples, enquanto outros recorrem a softwares avançados que possibilitam análises detalhadas e simulações (AZEVEDO, 2020). Independente da abordagem, a modelagem de processos é um processo iterativo, sendo necessário ajustá-la conforme a organização evolui e se adapta às mudanças (NASCIMENTO, 2019).

Aaist *et al.* (2000) propõem seis diretrizes neste sentido:

- Aderência- a sintaxe utilizada é completa e coerente e, a semântica mostra que a estrutura e o comportamento do modelo são coerentes com o mundo real;
- Relevância – selecionou um objeto relevante e utilizou uma técnica de modelagem adequada de um modelo mínimo (um dado modelo não deve conter mais informações que o necessário);
- Clareza – a terminologia, denominações e visualização são claras e legíveis para os usuários;

- Comparabilidade – terminologias e convenções utilizadas permitem a comparação de diferentes processos (busca de uma linguagem homogênea);
- Estruturação Sistemática – utiliza todas as estruturas relevantes para demonstrar adequadamente a realidade (integração de modelos de processos e modelos de informações);
- Eficiência Econômica – como uma restrição das outras diretrizes. Ou seja, a avaliação do custo x benefício de se obedecer a cada uma das diretrizes em um nível viável (por exemplo: em termos de utilidade e tempo).

Pandaya(1997) afirma que existem dois modos de representação dos processos de negócios: voltado para os sistemas de informações (implementação de sistemas computacionais) e o voltado para a gestão de valor dos processos (avaliação de desempenho).

Em síntese, a modelagem de processos desempenha um papel essencial na busca pela eficiência e excelência operacional (FONSECA, 2021). Ao fornecer uma representação visual clara das atividades e interações, essa abordagem auxilia na identificação de oportunidades de otimização e aprimoramento contínuo (CUNHA, 2023). Ao incorporar essa metodologia, as empresas podem se posicionar de maneira competitiva e adaptável em um ambiente empresarial em constante mudança (PIRES, 2022).

2.7 SIMULAÇÃO DE PROCESSOS

A simulação de processos é uma ferramenta poderosa e versátil usada para modelar, analisar e otimizar o desempenho de sistemas complexos. Ela desempenha um papel fundamental em diversas áreas, incluindo manufatura, logística, saúde, finanças e muitas outras (BANKS *et al.*, 2010). Através da criação de modelos computacionais que representam a dinâmica de um sistema do mundo real, a simulação permite a avaliação de diferentes cenários, a identificação de gargalos e a tomada de decisões embasadas em dados concretos.

A simulação de processos envolve a definição de variáveis relevantes e a construção de um modelo que capture a interação entre essas variáveis. Por meio da execução do modelo em um ambiente virtual, é possível observar como o sistema se comporta ao longo do tempo e em diferentes situações. Essa abordagem fornece insights valiosos que podem ser usados para melhorar a eficiência, reduzir custos e mitigar riscos.

Um dos principais benefícios da simulação é a capacidade de testar diferentes estratégias e cenários sem impactar o sistema real. Isso é especialmente relevante em situações em que experimentos na vida real seriam caros, arriscados ou demorados (ROBINSON *et al.*, 2004). Por exemplo, na manufatura, a simulação pode ser usada para otimizar o layout da fábrica, determinar as melhores configurações de produção e prever o impacto de mudanças nas operações.

Além disso, a simulação permite a análise de processos em condições extremas ou imprevistas, como situações de pico de demanda, falhas de equipamentos ou interrupções na cadeia de suprimentos. Ao observar como o sistema responde a essas condições, as organizações podem desenvolver estratégias de contingência e tomar medidas para minimizar os impactos negativos.

A simulação também é uma ferramenta valiosa para a tomada de decisões estratégicas. Ao criar cenários hipotéticos e analisar seus resultados, os gestores podem escolher a abordagem mais adequada para alcançar seus objetivos. Isso é particularmente útil em projetos de grande escala, como a construção de infraestruturas ou a expansão de operações.

No entanto, a simulação de processos requer um entendimento profundo do sistema que está sendo modelado e dos dados que o alimentam. Modelos precisam ser validados e calibrados para refletir com precisão o comportamento real do sistema. Além disso, a simulação é uma ferramenta de apoio à decisão, e seus resultados devem ser interpretados em conjunto com o conhecimento do especialista e a análise crítica.

Em resumo, a simulação de processos desempenha um papel crucial na otimização e no aprimoramento de sistemas complexos em diversas áreas. Ela capacita as organizações a explorar cenários alternativos, tomar decisões embasadas em dados e mitigar riscos potenciais. Com a crescente complexidade dos sistemas modernos, a simulação se torna uma ferramenta ainda mais indispensável para enfrentar os desafios do mundo contemporâneo.

2.7.1 Modelos de Simulação

Os modelos de simulação são representações abstratas de sistemas do mundo real que permitem estudar e compreender seu comportamento, características e interações por meio de experimentação virtual. Essas representações computacionais têm sido amplamente empregadas em diversas disciplinas, como engenharia, economia, ciências sociais e saúde, para analisar sistemas complexos e tomar decisões embasadas em dados.

Os modelos de simulação podem ser categorizados em duas principais abordagens: modelos baseados em equações analíticas e modelos de simulação baseados em eventos discretos. Os primeiros são usados para descrever sistemas que podem ser modelados matematicamente, como equações diferenciais que governam o comportamento de um sistema físico. Por outro lado, os modelos de eventos discretos são especialmente úteis para simular sistemas complexos onde os eventos ocorrem em momentos discretos e influenciam o estado do sistema (ROBINSON *et al.*, 2012).

Os modelos de simulação são compostos por três elementos essenciais: entidades, atributos e eventos. Entidades são os objetos ou componentes do sistema em estudo, como pessoas, veículos ou máquinas. Atributos representam as características dessas entidades que podem mudar ao longo do tempo, como estado, localização ou velocidade. Eventos são as ocorrências que afetam o estado das entidades e o sistema como um todo, como a chegada de um pedido ou a quebra de um equipamento (BANKS *et al.*, 2010).

A construção de um modelo de simulação envolve a definição desses elementos, a criação de regras que governam o comportamento do sistema e a definição dos cenários a serem simulados. Os modelos podem ser validados e verificados por meio da comparação de seus resultados simulados com dados reais ou teóricos. Uma vez validados, os modelos podem ser usados para experimentar diferentes cenários, ajustar parâmetros e tomar decisões informadas.

Os modelos de simulação têm uma ampla gama de aplicações. Na engenharia, eles são usados para otimizar o layout de fábricas, projetar sistemas de transporte eficientes e testar a eficácia de novas tecnologias. Na área de saúde, eles podem ser usados para simular a disseminação de doenças, testar protocolos médicos e prever a demanda por serviços de saúde. Na logística, os modelos de simulação ajudam a planejar rotas de transporte, gerenciar estoques e analisar redes de distribuição.

No entanto, é importante destacar que os modelos de simulação são simplificações da realidade e estão sujeitos a limitações e incertezas. A qualidade dos resultados depende da precisão dos dados de entrada e da modelagem correta das interações do sistema. Além disso, a interpretação dos resultados requer um entendimento profundo do modelo e do domínio em questão.

Em resumo, os modelos de simulação são ferramentas poderosas que permitem explorar e entender sistemas complexos através de experimentação virtual. Eles desempenham um papel vital na tomada de decisões embasadas em dados e são amplamente utilizados em diversos campos para analisar, otimizar e planejar sistemas do mundo real.

Modelos de simulação possuem natureza dinâmica (mudanças de estado no tempo), aleatória (usam variáveis aleatórias) e são formados por entidades que se interagem de forma lógica para algum fim. São particularmente usados para responder perguntas do tipo: "o que ocorre se..." e podem ser classificados em três dimensões Law (2007):

- **Estáticos vs. dinâmicos:** Modelos estáticos são usados para representar sistemas em que o tempo não desempenha nenhum papel. Modelos de Monte Carlo, usados para avaliar funções matemáticas, modelos financeiros ou elaboração de cenários, são exemplos de modelos estáticos. Por outro lado, modelos dinâmicos representam sistemas que evoluem no tempo, como um sistema de uma fábrica.
- **Determinísticos vs. estocásticos:** Modelos determinísticos não possuem componentes aleatórios. Exemplos de modelos determinísticos incluem um

sistema de equações diferenciais que descrevem uma reação química, ou modelos de programação linear inteira-mista. O resultado destes modelos também não possui componentes aleatórios. A presença de elementos aleatórios gera a necessidade de elaborar modelos estocásticos. A maioria dos sistemas de filas são modelados estocásticos.

- **Contínuos vs. discretos:** Em modelos contínuos, os valores das variáveis se alteram de forma gradativa no tempo e são geralmente representados por equações diferenciais, como por exemplo, no crescimento de uma planta, no enchimento de um pneu de carro ou na variação do nível de um tanque de combustível. Eventos discretos, por outro lado, evoluem à medida em que os estados do sistema são alterados e facilmente identificados, como uma parada de trens em estações ou a montagem da base de uma cadeira. A simulação por eventos discretos é o nosso objeto de estudo.

Embora seja uma das ferramentas mais utilizadas no mundo da pesquisa operacional, é preciso destacar o que não é simulação Chwif & Medina (2006): simulação não é uma bola de cristal (não prevê o futuro), não é um modelo matemático (expressão analítica fechada), não é otimização (ferramenta descritiva), não substitui o pensamento inteligente (no processo de tomada de decisão), não é a técnica de último recurso (quando outras técnicas falham) e não é uma panaceia (só a problemas bem específicos). Uma vez que o problema definido pode ser modelado por simulação, destaca-se suas vantagens, desvantagens e riscos Banks & Carson (1984) Law (2007):

2.7.2 Vantagens

- A maioria dos sistemas reais não pode ser avaliado analiticamente com acurácia. Simulação é a única forma possível.
- Permite estimar o desempenho de um sistema sob condições de operação projetadas.
- Permite a comparação de projetos de sistemas operacionais.
- Permite o controle das condições de experimentos (redução de variância), que seria possível apenas por experimentação.
- Permite a compressão do tempo de operações longas, ou até a expansão do tempo.

2.7.3 Desvantagens

- Simulação estocástica produz estimativas, e dependem de diversas rodadas. Se as características de um problema podem ser estimadas por parâmetros exatos, a otimização é preferível.
- Softwares podem ser caros e o desenvolvimento do modelo é demorado.
- Animações realísticas podem impressionar, mas corre-se o risco de o modelo não ser válido (Erro Tipo Zero).

2.7.4 Riscos

- Não definir os objetivos no início do estudo de simulação.
- Envolver todos do projeto desde o início.
- Nível inadequado de detalhes.
- Falha de comunicação com a gerência no decorrer do estudo.
- Equipe de gestão não entender a simulação.
- Tratar simulação como programação.
- Não ter equipe com conhecimento na metodologia de simulação.
- Não coletar bons dados.
- Usar software de simulação inadequado.
- Usar software de simulação mal documentado.
- Acreditar que bom software de simulação requer pouca competência técnica.
- Mal uso da animação.
- Usar distribuições arbitrárias.
- Analisar resultados de uma replicação apenas e tratar o resultado como "resposta".
- Não considerar tempo de *warm-up*.
- Usar medidas de desempenho erradas.

2.8 FLEXSIM

O *FlexSim* é uma plataforma de software avançada amplamente utilizada para modelagem, simulação e análise de sistemas complexos em diversas indústrias e campos (FLEXSIM, 2023). Essa ferramenta oferece uma variedade de recursos poderosos que permitem aos usuários criar modelos virtuais de processos e sistemas do mundo real, viabilizando a realização de experimentos virtuais para entender e otimizar o desempenho desses sistemas.

Uma das principais características distintivas do *FlexSim* é a sua abordagem baseada em modelagem 3D, que permite aos usuários criar modelos que replicam visualmente o ambiente real em que o sistema opera (FLEXSIM, 2023). Essa representação tridimensional proporciona uma visualização mais precisa e realista das operações, auxiliando os usuários a compreender melhor as interações complexas entre os componentes do sistema.

A plataforma dispõe de uma biblioteca de objetos pré-configurados, como máquinas, equipamentos, veículos e recursos humanos, que podem ser facilmente incorporados aos modelos (FLEXSIM, 2023). Além disso, o *FlexSim* oferece a linguagem de programação *FlexScript*, que possibilita a personalização e a configuração detalhada do comportamento dos objetos e das interações dentro do sistema modelado (FLEXSIM, 2023).

A animação em tempo real é outra característica notável do *FlexSim*, permitindo que os usuários observem uma representação visual em tempo real das operações do sistema enquanto o modelo de simulação está em execução (FLEXSIM, 2023).

Isso não apenas torna a simulação mais envolvente, mas também auxilia os usuários a identificar padrões e tendências à medida que o modelo é executado.

As aplicações do *FlexSim* são vastas e abrangem diversos setores. Na manufatura, o software é usado para otimizar o *layout* da fábrica, planejar a produção e simular processos de fabricação (FLEXSIM, 2023). Na logística, ele auxilia na análise de cadeias de suprimentos, roteamento de transporte e gestão de estoque. Em ambientes de saúde, o *FlexSim* é empregado para simular fluxos de pacientes, otimizar operações hospitalares e analisar o impacto de diferentes políticas de atendimento.

No entanto, é importante reconhecer que a eficácia da simulação depende da precisão dos dados inseridos no modelo e da validação cuidadosa do mesmo. Além disso, a interpretação dos resultados requer um entendimento sólido do domínio específico e da modelagem. Suas características abrangentes, funcionalidades avançadas e aplicabilidades diversificadas o estabelecem como uma ferramenta essencial para embasar tomadas de decisão com base em dados precisos em diversos setores empresariais e industriais.

Em resumo, o *FlexSim* é uma ferramenta abrangente e flexível, com recursos avançados para modelagem, simulação e análise. Sua interface intuitiva, capacidade de modelagem 3D e aplicabilidade diversificada em diversos setores consolidam-no como um *software* fundamental para otimização de processos, aprimoramento da eficiência e suporte à tomada de decisões fundamentadas em simulações realistas

2.8.1 Riscos Características do FlexSim

- **Interface Intuitiva:** O *FlexSim* é notável por sua interface gráfica intuitiva, permitindo aos usuários criar modelos de simulação de maneira eficaz, independentemente de habilidades avançadas de programação.
- **Modelagem 3D:** Uma característica distintiva do *FlexSim* é sua capacidade de criar modelos tridimensionais dos sistemas em análise, proporcionando uma representação visual mais realista e precisa do ambiente simulado.
- **Biblioteca de Objetos:** O *software* dispõe de uma extensa biblioteca de objetos predefinidos, como máquinas, transportadores e recursos humanos, que podem ser facilmente integrados aos modelos por meio de operações de arrastar e soltar.
- **Linguagem FlexScript:** O *FlexSim* oferece a Linguagem *FlexScript*, uma linguagem de programação própria, que permite aos usuários personalizar o comportamento dos objetos e implementar lógicas específicas de acordo com as necessidades do modelo.
- **Animação em Tempo Real:** A simulação no *FlexSim* é acompanhada de uma animação em tempo real, o que permite aos usuários observar o funcionamento do sistema e compreender suas interações e dinâmicas.

2.8.2 Funcionalidades e Aplicações do FlexSim

- **Otimização de Processos:** O *FlexSim* é amplamente empregado para otimizar processos de manufatura, logística e operações, permitindo identificação de

gargalos, análise de fluxos de trabalho e otimização de recursos para aumento de eficiência e produtividade.

- **Design de Layout:** O *software* é utilizado para projetar layouts eficazes para fábricas, armazéns e instalações, levando em consideração fatores como fluxo de materiais, distâncias percorridas e utilização de espaço.
- **Planejamento de Cadeia de Suprimentos:** O *FlexSim* é empregado na análise e otimização das operações de cadeias de suprimentos, possibilitando a avaliação de diferentes estratégias de distribuição, estoque e transporte.
- **Modelagem de Saúde:** Na área de saúde, o *FlexSim* é aplicado para simular o fluxo de pacientes em hospitais, clínicas e instalações médicas, contribuindo para aprimorar o atendimento e alocar recursos de maneira eficiente.
- **Logística e Transporte:** O *software* auxilia na simulação de sistemas de transporte e logística, permitindo a análise de rotas, programação de veículos e planejamento de redes de distribuição.
- **Manufatura Lean:** O *FlexSim* é utilizado em iniciativas de produção enxuta para eliminar desperdícios, reduzir tempos de ciclo e otimizar a eficiência global dos processos.
- **Projetos de Infraestrutura:** Também é empregado em projetos de infraestrutura, como aeroportos e centros de distribuição, para avaliar capacidade, fluxos de passageiros e operações.

2.9 TAKT TIME

O *Takt Time* é um conceito fundamental na área de produção e gestão de processos, utilizado para sincronizar as atividades de produção com a demanda do mercado. Originado no Sistema Toyota de Produção, o *Takt Time* é uma métrica que determina o ritmo necessário para atender à demanda dos clientes de maneira consistente e eficiente (WOMACK; JONES; ROOS, 1992).

O *Takt Time* é calculado dividindo-se o tempo disponível para produção pelo volume de demanda (ROPER, 2012). Em outras palavras, é o tempo máximo permitido para produzir um produto ou entregar um serviço para atender às necessidades dos clientes. Esse conceito pode ser aplicado em várias indústrias, desde manufatura até serviços, onde a produção ou as operações são realizadas em ciclos repetitivos.

Um dos principais objetivos do *Takt Time* é criar um fluxo contínuo de produção, evitando gargalos e minimizando o desperdício. Ao sincronizar o ritmo de produção com a demanda do cliente, é possível reduzir estoques excessivos, evitar excesso de produção e identificar desequilíbrios na capacidade de produção.

Além disso, o *Takt Time* é uma ferramenta valiosa para o planejamento e dimensionamento da mão de obra, auxiliando na alocação adequada de recursos para atender à demanda. Ele também pode ser usado para identificar tempos de ciclo não realistas ou incompatíveis com a demanda, permitindo a identificação de oportunidades de melhoria na produtividade e eficiência.

É importante notar que o *Takt Time* não deve ser considerado isoladamente, mas em conjunto com outras ferramentas e conceitos de gestão, como fluxo contínuo, *kanban* e produção enxuta. Ele deve ser adaptado à realidade e às características específicas de cada processo ou operação.

Em resumo, o *Takt Time* desempenha um papel essencial na harmonização da produção com a demanda, promovendo a eficiência, a redução de desperdícios e a melhoria contínua (WOMACK; JONES; ROOS, 1992). Ao calcular e aplicar o *Takt Time* de forma adequada, as organizações podem otimizar seus processos e recursos para entregar produtos e serviços de alta qualidade no ritmo exigido pelos clientes.

2.10 CAPACIDADE DE PRODUÇÃO

A capacidade de produção é um conceito fundamental na gestão de operações e na indústria em geral. Ela se refere à quantidade máxima de produtos ou serviços que uma organização pode produzir em um determinado período de tempo, levando em consideração seus recursos disponíveis, como mão de obra, máquinas, espaço físico e tempo de produção (SLACK *et al.*, 2016).

A compreensão da capacidade de produção é crucial para o planejamento e a tomada de decisões estratégicas. Ela permite que as empresas avaliem sua capacidade de atender à demanda do mercado e identifiquem possíveis gargalos que possam afetar a eficiência da produção.

Existem diferentes tipos de capacidade de produção:

- **Capacidade Efetiva:** É a capacidade máxima que uma organização pode produzir em condições ideais, sem levar em conta paradas, manutenções ou outros fatores que possam afetar a produção.
- **Capacidade Utilizada:** Refere-se à porcentagem da capacidade efetiva que está sendo efetivamente usada para produção. Uma capacidade utilizada de 100% significa que a empresa está produzindo na sua capacidade máxima.
- **Capacidade Instalada:** É a capacidade total das instalações e recursos disponíveis na empresa. No entanto, nem sempre a capacidade instalada é completamente utilizada devido a variações na demanda ou outros fatores.
- **Capacidade Ociosa:** É a diferença entre a capacidade instalada e a capacidade utilizada. Uma capacidade ociosa pode indicar ineficiências na produção ou a possibilidade de lidar com picos de demanda.
- **Capacidade Teórica:** É a capacidade máxima que uma organização pode alcançar com base nas especificações dos recursos disponíveis, desconsiderando as limitações da vida real.

Para otimizar a capacidade de produção, as empresas precisam equilibrar cuidadosamente a oferta e a demanda. Isso envolve planejar a alocação de recursos, ajustar os cronogramas de produção e garantir que os processos estejam funcionando de maneira eficiente. A gestão da capacidade também pode envolver a identificação de gargalos e a implementação de estratégias para aumentar a produção quando necessário.

Para se determinar a capacidade de produção, é necessário identificar o gargalo da linha de produção. Entende-se por gargalo o posto que limita a capacidade ou o desempenho de um sistema. Por fim, pode-se então calcular a capacidade pela fórmula (1) (SARKER & PAN, 1998).

$$\text{Capacidade de produção} = \frac{\text{Tempo disponível no período } p}{\text{Tempo dos postos mais sobrecarregados}} \quad (1)$$

É importante ressaltar que a capacidade de produção não é estática. Ela pode ser ajustada ao longo do tempo com base nas mudanças na demanda do mercado, investimentos em novos equipamentos, melhorias nos processos e outros fatores. A adaptação da capacidade é essencial para que as organizações continuem competitivas e capazes de atender às necessidades do mercado de forma eficiente.

Em resumo, a capacidade de produção é um conceito fundamental para a gestão de operações, influenciando a eficiência, a competitividade e a capacidade de uma organização de atender à demanda do mercado (SLACK *et al.*, 2016). Um entendimento sólido da capacidade de produção permite que as empresas planejem, aloquem recursos e tomem decisões informadas para otimizar seus processos e maximizar a eficiência operacional.

2.11 BALANCEAMENTO DE LINHAS DE PRODUÇÃO

O balanceamento de produção é uma estratégia crucial na gestão de operações, especialmente em ambientes de manufatura, onde a eficiência e a otimização dos processos são essenciais para atender à demanda do mercado de maneira eficaz (SLACK *et al.*, 2016). Esse conceito refere-se ao ajuste e distribuição equilibrada das atividades de produção ao longo do tempo e entre os recursos disponíveis, com o objetivo de evitar gargalos, minimizar ociosidade e maximizar a utilização dos recursos.

O balanceamento de produção é frequentemente aplicado em linhas de montagem ou fluxos de trabalho repetitivos, nos quais as tarefas são realizadas sequencialmente por diferentes etapas ou estações (HEIZER; RENDER, 2014). A ideia central é garantir que cada estação de trabalho tenha uma carga equitativa de trabalho, evitando que alguma etapa se torne um gargalo que restrinja a capacidade produtiva de toda a linha.

Uma abordagem comum para o balanceamento de produção é utilizar a análise do tempo de ciclo de cada etapa. O tempo de ciclo é o intervalo de tempo necessário para que uma unidade do produto seja produzida em uma estação específica. Ao analisar os tempos de ciclo de cada estação e compará-los com a demanda, é possível identificar onde ajustes são necessários para equilibrar o fluxo de produção (HEIZER; RENDER, 2014).

No entanto, o balanceamento de produção não se resume apenas ao ajuste dos tempos de ciclo. Também envolve a alocação inteligente de tarefas e a capacidade de adaptação às variações na demanda. O uso de técnicas como *kanban*, células de produção, trabalho em equipe e técnicas de programação visual pode ser fundamental para alcançar um balanceamento eficaz.

Os benefícios do balanceamento de produção são diversos. Ele contribui para a eliminação de gargalos que podem levar a atrasos e acúmulo de estoque em determinadas etapas da produção. Além disso, reduz o tempo de ciclo geral, aumenta a produtividade, minimiza os custos e melhora a qualidade do produto final.

Vale ressaltar que o balanceamento de produção não é uma tarefa única, mas sim um processo contínuo que requer monitoramento constante e ajustes à medida que as condições mudam. A demanda do mercado, a introdução de novos produtos, as mudanças nos processos e outras variáveis podem influenciar a necessidade de reequilibrar a produção ao longo do tempo.

Em resumo, o balanceamento de produção é uma estratégia fundamental na gestão de operações para garantir a eficiência, a utilização otimizada dos recursos e a entrega pontual de produtos (SLACK *et al.*, 2016). Através da análise cuidadosa dos tempos de ciclo, alocação equilibrada de tarefas e a aplicação de técnicas apropriadas, as organizações podem otimizar seus fluxos de trabalho, minimizar gargalos e alcançar níveis mais elevados de produtividade e qualidade.

2.11.1 Etapas do Balanceamento de Produção

O balanceamento de produção é um processo fundamental na gestão de operações que visa otimizar a alocação de tarefas e recursos ao longo de um fluxo de trabalho, a fim de evitar gargalos, minimizar tempos ociosos e maximizar a eficiência do sistema produtivo (SLACK *et al.*, 2016). Esse processo envolve várias etapas que devem ser cuidadosamente executadas para alcançar resultados satisfatórios. São elas:

- **Identificação das Tarefas:** A primeira etapa do balanceamento de produção consiste em identificar todas as tarefas ou operações envolvidas no processo de produção. Isso inclui listar as atividades necessárias para a fabricação de um produto ou a execução de um serviço.
- **Determinação dos Tempos de Ciclo:** Cada tarefa tem um tempo de ciclo associado, que é o tempo necessário para concluí-la. A segunda etapa envolve determinar os tempos de ciclo para cada tarefa. Isso permite entender a capacidade produtiva de cada etapa e sua contribuição para o fluxo geral.
- **Criação do Diagrama de Equilíbrio:** O próximo passo é criar um diagrama de equilíbrio, também conhecido como gráfico de balanceamento. Esse gráfico exhibe visualmente as diferentes tarefas ou estações de trabalho ao longo do

eixo horizontal e os tempos de ciclo ao longo do eixo vertical. Isso ajuda a identificar possíveis desequilíbrios no fluxo de trabalho.

- **Definição do Tempo *Takt*:** O tempo *takt* é o ritmo necessário para atender à demanda do mercado. Ele é calculado dividindo o tempo disponível de produção pelo volume de demanda. Esse tempo atua como uma referência para o balanceamento, ajudando a distribuir as tarefas de forma equilibrada.
- **Alocação de Tarefas:** Com o tempo *takt* definido, as tarefas são alocadas de acordo com seus tempos de ciclo. O objetivo é equilibrar as tarefas de forma que o tempo total de ciclo de cada estação de trabalho seja aproximadamente igual ao tempo *takt*, evitando assim gargalos ou ociosidade.
- **Ajustes e Otimização:** Após a alocação inicial das tarefas, é importante revisar e ajustar o balanceamento conforme necessário. Isso pode envolver a reorganização de tarefas, a redistribuição de recursos ou a revisão dos tempos de ciclo para melhor atender às necessidades da produção.
- **Monitoramento Contínuo:** O último passo é implementar um sistema de monitoramento contínuo para acompanhar a eficácia do balanceamento ao longo do tempo. À medida que a demanda, os recursos ou os processos mudam, o balanceamento pode precisar ser revisado e ajustado para manter a eficiência.

O balanceamento de produção é uma abordagem dinâmica e adaptável, pois as condições de produção estão sujeitas a variações. Portanto, o processo de balanceamento deve ser flexível para acomodar mudanças na demanda do mercado, introdução de novos produtos, melhorias nos processos e outras influências.

Em resumo, o balanceamento de produção envolve etapas como a identificação de tarefas, a determinação dos tempos de ciclo, a criação de um diagrama de equilíbrio, a alocação de tarefas e a otimização contínua (SLACK *et al.*, 2016). Ao seguir essas etapas de maneira adequada e adaptativa, as organizações podem alcançar uma alocação eficiente de recursos, minimizar gargalos e maximizar a produtividade em seus processos produtivos.

2.12 ANÁLISE DE TEMPOS E MÉTODOS

A análise de tempos e métodos é uma abordagem crucial na gestão de operações que se concentra na avaliação detalhada das tarefas envolvidas em um processo de produção ou operação. Essa metodologia busca identificar e compreender cada etapa do processo, desde a chegada da matéria-prima até a entrega do produto final, a fim de otimizar a eficiência, a produtividade e a qualidade (GROOVER, 2015).

O principal objetivo da análise de tempos e métodos é eliminar desperdícios, identificar gargalos e ineficiências, e melhorar a eficiência global dos processos. Isso é alcançado por meio da análise minuciosa de cada passo, da medição dos tempos de execução das atividades e da proposição de métodos mais eficientes.

As etapas básicas da análise de tempos e métodos são as seguintes:

- **Observação:** Observar e registrar todas as etapas do processo, desde o início até o fim, identificando as tarefas realizadas e a sequência em que ocorrem.
- **Medição de Tempos:** Cronometrar o tempo necessário para a execução de cada tarefa individual. Isso envolve o uso de técnicas como o cronômetro e a observação direta dos trabalhadores.
- **Identificação de Ineficiências:** Analisar os tempos medidos em relação ao tempo ideal, identificando variações, tempos excessivos ou etapas desnecessárias. Essa análise ajuda a identificar gargalos e áreas de desperdício.
- **Desenvolvimento de Métodos Melhores:** Propor métodos alternativos ou ajustes que possam reduzir o tempo necessário para concluir uma tarefa, melhorar a qualidade e reduzir o esforço necessário.
- **Implementação e Teste:** Implementar os novos métodos propostos e testá-los na prática. Avaliar a eficácia das mudanças e ajustar conforme necessário.
- **Treinamento:** Fornecer treinamento adequado aos trabalhadores para garantir que eles compreendam e adotem os novos métodos de trabalho de maneira eficaz.
- **Monitoramento Contínuo:** Manter um processo de monitoramento constante para avaliar a eficácia das mudanças implementadas. Caso necessário, fazer ajustes adicionais.

A análise de tempos e métodos não se limita apenas à produção industrial; ela também é aplicável a processos de serviços, como atendimento ao cliente, logística e distribuição. Através dessa análise detalhada, as organizações podem identificar oportunidades de melhoria, otimizar recursos e reduzir desperdícios, contribuindo para a eficiência operacional e a satisfação do cliente.

Em resumo, a análise de tempos e métodos é uma abordagem sistemática que visa melhorar a eficiência e a qualidade dos processos por meio da observação, medição, identificação de ineficiências e proposição de métodos melhores (GROOVER, 2015). Ao aplicar essa metodologia, as organizações podem otimizar suas operações, reduzir desperdícios e atender às demandas do mercado de forma mais eficaz.

2.13 TRATAMENTO DE DADOS

O tratamento e análise de dados desempenham um papel central na tomada de decisões informadas em diversos campos, desde a pesquisa científica até a gestão de negócios (MOREIRA, 2010). Esses processos envolvem a coleta, organização, limpeza, transformação e interpretação de dados para extrair insights valiosos e embasar ações estratégicas. Com o advento da tecnologia da informação e a crescente disponibilidade de dados, a capacidade de realizar uma análise precisa e eficaz tornou-se uma habilidade essencial.

- **Coleta e Preparação de Dados:** A primeira etapa é a coleta de dados, que pode ocorrer por meio de fontes variadas, como pesquisas, sensores, sistemas de informações e redes sociais. Uma vez obtidos, os dados frequentemente precisam ser limpos e preparados para análise, incluindo a identificação e correção de valores faltantes, erros e *outliers*.
- **Exploração e Transformação de Dados:** A exploração de dados envolve a aplicação de técnicas estatísticas e de visualização para entender a distribuição dos dados e identificar padrões preliminares. A transformação de dados, por outro lado, envolve a manipulação dos dados em diferentes formatos ou escalas, como normalização, discretização ou agregação.
- **Análise Estatística:** A análise estatística é fundamental para identificar relações entre variáveis, testar hipóteses e tomar decisões embasadas. Técnicas como regressão, análise de variância, testes de hipóteses e análise de tendências podem ser aplicadas para compreender os dados e extrair informações relevantes.
- **Mineração de Dados:** A mineração de dados envolve a utilização de algoritmos para descobrir padrões, tendências e associações nos dados. Isso pode ser usado para prever comportamentos futuros, identificar segmentos de clientes e tomar decisões estratégicas.
- **Aprendizado de Máquina e Inteligência Artificial:** O aprendizado de máquina e a inteligência artificial capacitam sistemas a aprender com dados e melhorar seu desempenho ao longo do tempo. Isso inclui desde tarefas simples de classificação até a criação de modelos complexos de previsão e reconhecimento de padrões.
- **Visualização de Dados:** A visualização de dados é uma ferramenta poderosa para comunicar informações complexas de forma clara e compreensível. Gráficos, mapas e *dashboards* interativos podem auxiliar na interpretação e comunicação dos *insights* obtidos.
- **Interpretação e Tomada de Decisões:** A interpretação dos resultados é crucial para transformar dados em ações. Os *insights* extraídos dos dados podem orientar decisões estratégicas, identificar oportunidades de melhoria e otimizar processos.
- **Ética e Privacidade:** O tratamento e análise de dados também levantam considerações éticas e de privacidade, especialmente quando se lida com dados sensíveis ou pessoais. A anonimização e o cumprimento das regulamentações de proteção de dados são aspectos fundamentais nesse contexto.

Em resumo, o tratamento e análise de dados são processos interligados que permitem transformar informações brutas em *insights* valiosos (MOREIRA, 2010). Essas práticas têm aplicações em uma ampla gama de setores, desempenhando um papel fundamental na tomada de decisões informadas e na busca por eficiência, inovação e excelência em diversas áreas.

3 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

3.1 TIPO DE PESQUISA

O tipo de pesquisa utilizado para este projeto é o estudo de caso com ênfase quantitativa que consiste, geralmente, em uma forma de aprofundar uma unidade individual. Ele serve para responder questionamentos que o pesquisador não tem muito controle sobre o fenômeno estudado. Este método é útil quando o fenômeno a ser estudado é amplo e complexo e não pode ser estudado fora do contexto onde ocorre naturalmente.

Um estudo de caso é uma investigação empírica que investiga um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto da vida real, especialmente quando os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos (YIN, 2001). A tendência do Estudo de Caso é tentar esclarecer decisões a serem tomadas. Ele investiga um fenômeno contemporâneo partindo do seu contexto real, utilizando de múltiplas fontes de evidências. É preciso que tenha diferentes visões teóricas acerca do assunto estudado, pois serão a base para orientar as discussões sobre determinado fenômeno constituem a orientação para discussões sobre a aceitação ou não das alternativas encontradas. Para isso é preciso possuir uma amostra de várias evidências.

É uma investigação que trata sobre uma situação específica, procurando encontrar as características e o que há de essencial nela. Esse estudo pode ajudar na busca de novas teorias e questões que serviram como base para futuras investigações.

3.2 COLETA DE DADOS

Serão utilizadas como técnicas para a coleta de dados o estudo de caso exploratório, com o intuito de ir a fundo no processo produtivo a ser analisado e a análise de tempos e métodos de maneira que seja possível ser verificada se existem divergências dos dados reais com os dados documentados.

As documentações, os fluxogramas de processo e os gráficos de balanceamento operacionais fornecidos pela empresa que será o ambiente deste estudo serão analisados por meio de vídeos e observações in loco serão coletados os tempos de processamento de cada posto de trabalho e de máquinas utilizadas no processo.

Serão realizadas visitas ao processo produtivo durante um período de 15 dias para analisar o comportamento dos operadores e sua eficiência em momentos diferentes do dia. Os dados coletados todos serão verificados e tratados de modo que não existam a presença de dados que deixem a análise do estudo tendenciosa.

3.3 REALIZAÇÃO DE BALANCEAMENTO DE ATIVIDADES

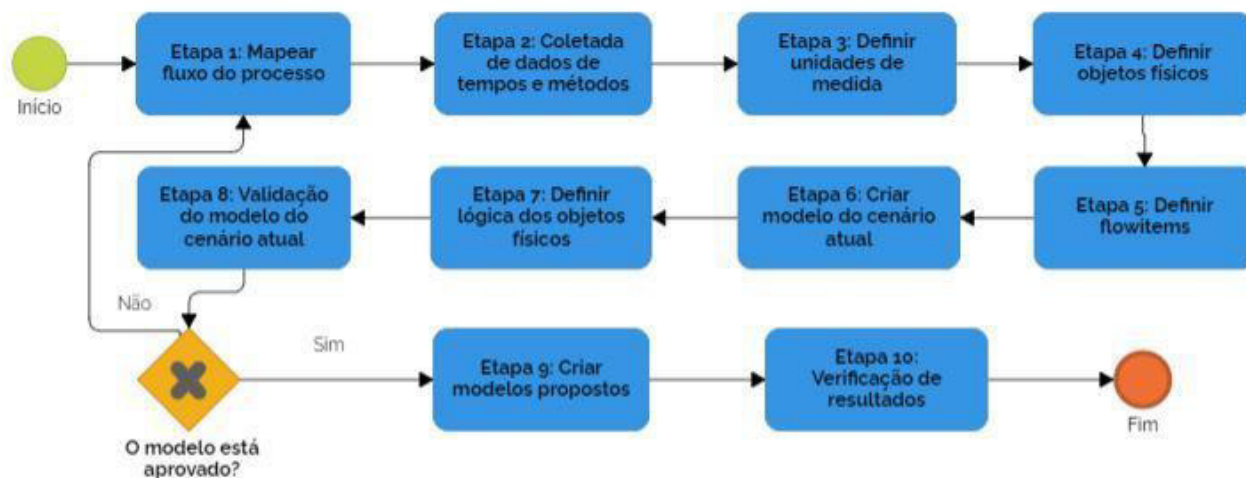
Após a coleta de dados serão realizados os balanceamentos das atividades de modo que fiquem nítidos os gargalos e permita a criação de novos gráficos de balanceamento de operações, um para o cenário atual e três novos para os cenários propostos pelo estudo. Serão criados 4 quadros, um para cada cenário, contemplando as medições de tempos dos postos e identificando os gargalos e suas limitações

3.4 USO DO FLEXSIM PARA A SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS PROPOSTOS

Após o tratamento dos dados vai ser realizada uma simulação para cenário real para que sirva de validação aos dados obtidos e em seguida uma simulação para cada cenário proposto, permitindo que haja o levantamento de resultados importantes como os valores de capacidade produtiva e os de produtividade. Com isso será possível definir qual dos cenários propostos será o ideal para aplicação no processo.

O processo de criação de cenários de simulação *FlexSim* possui uma série de etapas e para este estudo foram utilizadas 10 etapas de acordo com a Figura 1.

Figura 1 – Fluxo simulação



Fonte: Autor, 2023.

As etapas de criação da simulação possuem as seguintes descrições:

- **Etapa 1:** nesta etapa é realizado um mapeamento do fluxo do processo e de suas atividades o mesmo servirá de base para desenho do layout da simulação;
- **Etapa 2:** nesta etapa para cada posto de trabalho e máquina é realizado o estudo de tempos e métodos o que auxiliará futuramente na criação da lógica de cada objeto físico presente na simulação;

- **Etapa 3:** inicializando o software é necessário configurar as unidades de medida padrão para tempo, distância e volume. Para este estudo foram definidos tempo em segundos(s), distância em metros(m) e volume em litros(l);
- **Etapa 4:** definir os objetos físicos da simulação. Os objetos físicos representam as entradas de insumos (*Source*), as atividades presentes (*Processor*), as filas (*Queue*) e as saídas (*Sink*);
- **Etapa 5:** definir os objetos fluídos da simulação. Representam o produto que passa por todos os objetos físicos que no caso será o produto;
- **Etapa 6:** criar o modelo do cenário atual de estudo. Nesta etapa são interligados os objetos físicos e associado a eles os objetos fluídos;
- **Etapa 7:** configurar a lógica dos objetos físicos. Nesta etapa são configurados os parâmetros lógicos de cada objeto físico, como os tempos de operação, as distribuições probabilísticas que mais se adequam a ele, as restrições de entrada ou saída;
- **Etapa 8:** validação do modelo do cenário atual. Nesta etapa é realizada a simulação de um dia de trabalho para o modelo e em seguida é verificado se os dados referentes a simulação refletem os dados reais. Se a simulação tiver a validação aprovada, passamos para a próxima etapa, caso contrário voltamos para a primeira etapa;
- **Etapa 9:** criação de modelos propostos. Baseado nos resultados da simulação do cenário atual são criados novos modelos com a implementação de melhorias no processo;
- **Etapa 10:** verificação dos resultados. São verificados os resultados de cada novo modelo criado e com base neles serão justificadas as escolhas de melhorias a serem implementadas.

4 APLICAÇÃO DO ESTUDO DE CASO PRELIMINAR

4.1 DESCRIÇÃO DO CENÁRIO PRELIMINAR

4.1.1 Perfil da Empresa

A empresa escolhida para este projeto é uma empresa brasileira que há mais de 32 anos fornece soluções tecnológicas no Brasil, países da América Latina, Estados Unidos e África. Seu portfólio conta com produtos e serviços para TV, Internet, Casa Conectada e Energia Solar que, juntos, oferecem uma experiência completa de vida conectada e sustentável, além de soluções empresariais em segurança profissional, infraestrutura para provedores e manufatura.

A empresa possui a matriz em Valinhos (SP) onde estão a equipe administrativa, o e-commerce, a engenharia, o *call-center* e assistência técnica próprios. A fábrica está em Manaus (AM), em uma área de 10.000m² alocada na Zona Franca com nossas equipes da linha de produção e armazenamento. Para facilitar as pesquisas e viabilizar negócios com parceiros internacionais, possui uma unidade em Shenzhen na China.

4.1.2 Processo de Produção do PCI POWER ALFA

O processo de produção da PCI POWER ALFA possui três etapas principais: Inserção Manual, Soldagem Por Onda e Acabamento (Figura 2). O foco do estudo será em remodelar o processo para que algumas atividades manuais do acabamento possam ser substituídas por atividades automatizadas, visando aumento de capacidade e produtividade.

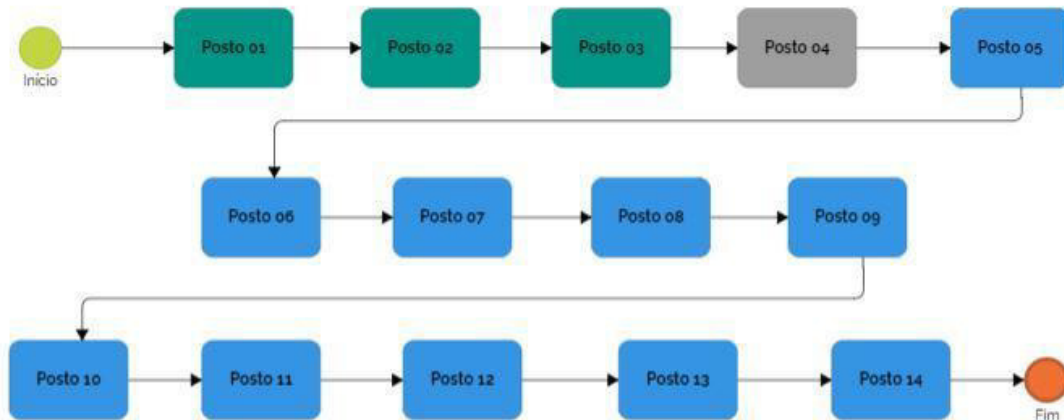
Figura 2 – Fluxograma de processo



Fonte: Autor, 2023.

Ao todo o processo possui quatorze postos de trabalho (Figura 3) e a meta diária de produtos acabados é de 640 unidades.

Figura 3 – Fluxograma do processo atual



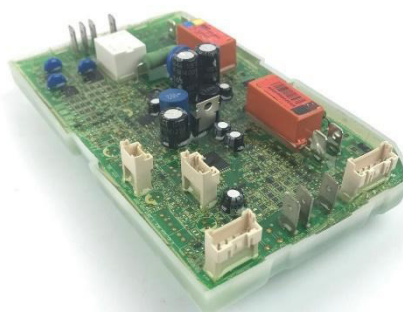
Fonte: Autor, 2023.

4.2 LEVANTAMENTO DE DADOS DE PRODUTO E PROCESSO

4.2.1 Descrição do Produto

O produto escolhido é uma placa eletrônica para lava-louças e por questões de sigilo solicitadas pela empresa vamos chamar o mesmo de “PCI POWER ALFA” (Figura 4). A placa tem como função ser responsável pela energização da lava-louças e sua principal característica é a proteção contra humidade presente na mesma que consiste em uma camada cristalina formada pela junção de um óleo e um secante.

Figura 4 – Imagem PCI POWER ALFA



Fonte: Autor, 2023.

4.2.2 Descrição de Etapas do Processo

4.2.2.1 Descrição de Etapas do Processo - Inserção Manual

Etapa de processo em que operadores encaixam de modo manual componentes do tipo PTH nas placas. Nesta etapa são utilizados 3 postos de montagem:

- **Posto 1:** nesta atividade o operador realiza a depanelização da PCI (Placa de Circuito Impresso) que consiste em de modo manual retirar separar duas PCIs de suas rebarbas por meio de corte realizado com discos. Em seguida o operador faz a pinagem de 7 terminais do tipo faston em cada PCI com o auxílio de uma prensa pneumática, posteriormente faz o encaixe de duas PCIs em pallet de solda e faz a leitura da etiqueta de cada PCI e o status é catalogado no Tamba(Sistema desenvolvido pela empresa para fazer o controle de indicadores de produção);
- **Posto 2:** nesta atividade um operador realiza a inserção manual de sete componentes em cada PCI que passa em movimento por uma esteira;
- **Posto 3:** nesta atividade um operador realiza a inserção manual de cinco componentes em cada PCI que passa em movimento por uma esteira e faz a leitura da etiqueta de cada PCI;

4.2.2.2 Máquina de Soldagem por Onda

Etapa de processo no qual uma *Wave Solder Machine* realiza a soldagem dos componentes do tipo PTH. Nesta etapa o tempo de soldagem é constante:

- **Posto 4:** nesta atividade as PCIs passam por *Wave Solder Machine* por meio de *conveyor* e os componentes são soldados nas placas por meio de ondas de solda do tipo *Tin Lead* (Insumo de uso obrigatório por exigência do cliente).

4.2.2.3 Acabamento

Etapa de processo em que operadores realizam atividades para a finalização do produto, são elas: revisão de solda, gravação, aplicação de resina *burn-in*, testes e embalagem. Nesta etapa são utilizados 10 postos de montagem:

- **Posto 5:** nesta atividade a solda das PCIs são revisadas e é realizado o retoque de solda em pontos críticos em que a *Wave Solder Machine* não garante a soldagem 100%;
- **Posto 6:** nesta atividade é realizado um teste elétrico nas PCIs por meio de um *Fixture* acoplado à um TRI (equipamento que testa as medições elétricas). A etiqueta presente na PCI é lida e o status é catalogado no Tamba, PCIs aprovadas seguem em processo e as reprovadas são passadas para posto técnico de concerto;
- **Posto 7:** nesta atividade as PCIs recebem uma gravação de funcionalidade por meio de um *Jig* de gravação, posteriormente são encaixadas em um *Blister* (molde plástico). A etiqueta presente na PCI é lida e o status é catalogado no Tamba;
- **Posto 8:** nesta atividade as resinas A(óleo) e B(secante) são depositadas em *beckers* e pesadas em proporções pré-definidas, posteriormente são misturadas por um *mixer* e divididas por igual em 8 copos plásticos;

- **Posto 9:** nesta atividade o operador faz a aplicação da resina de modo manual, onde o mesmo deposita a resina contida no copo plástico em uma PCI;
- **Posto 10:** nesta atividade o operador verificar se há presença de bolhas na superfície da PCI e faz o encaixe dos pallets no *conveyor* do Forno Industrial. O operador também realiza a limpeza dos *beckers*;
- **Posto 11:** nesta atividade os pallets contendo as PCIs passam por um Forno Industrial para que a resina aplicada na atividade anterior possa curar e cristalizar. O Forno Industrial possui zonas aquecidas à 120°C e o tempo de cura é constante;
- **Posto 12:** nesta atividade as PCIs saídas do forno são retiradas dos pallets e revisadas visualmente para verificar se há a presença de falhas na resina cristalizada, caso existam é aplicada resina de maneira manual na PCI e ela é segregada para que a resina cristalize, caso não exista a presença de falhas a PCI é encaixada em um Carro de *Burn-in*. Cada carro tem capacidade de comportar 64 PCIs;
- **Posto 13:** nesta atividade os carros de *burn-in* são energizados a 220V e aquecidas a 100°C durante um período de 2 horas. Esse processo envelhece as PCIs em 2 horas de utilização;
- **Posto 14:** nesta atividade é realizado do teste elétrico funcional da PCI por meio de um *Jig* de testes, caso esteja aprovado ou reprovado a etiqueta presente na PCI é lida e o status é catalogado no Tamba. As peças aprovadas são embaladas em caixas coletivas e as reprovadas são passadas para posto técnico de concerto.

4.2.3 Coleta de Dados

- Dados referentes a tempo de processamento de máquinas foram adquiridos por meio do Gráfico de Balanceamento Operacional (GBO), com o técnico responsável pela programação da *Wave Solder Machine*, do Forno Industrial, das *Cabines de Burn in* e da Máquina de *Potting* Automática;
- Dados referentes a tempos e métodos a princípio foram coletados por meio das documentações de processo. Entretanto posteriormente foi detectado que as documentações eram tendenciosas pois consideravam o operador realizando suas atividades com 100% de eficiência. Sendo assim, foi realizada uma nova coleta de dados com base na observação dos operadores realizando suas atividades no decorrer do dia;

- Para cada posto de trabalho foram coletados os tempos considerando horários diferentes ao decorrer do dia no período de uma semana para que a amostra fosse a menos tendenciosa possível.

4.3 ANÁLISES DE MÁQUINAS

4.3.1 Máquina de Solda Wave

Para que o processo tenha a capacidade produtiva esperada de 800 unidades por dia é necessária a utilização de uma máquina de soldagem por onda, conhecida como Máquina Wave MS-450 (Figura 5). A máquina utiliza solda *Tin Lead* e o Fluxo NC215 para a realização da soldagem.

Figura 5 – Máquina de solda wave



Fonte: Autor, 2023.

A máquina não é dedicada isso significa que outros produtos além do PCI POWER ALFA e isso torna necessária a utilização de pallets de soldagem (Figura 6) com capacidade de 2 placas por pallet, nos quais as placas são encaixadas antes de passarem pela Inserção Manual.

Figura 6 – Pallet de solda



Fonte: Autor, 2023.

4.3.2 Máquina Robô de Aplicação de Resina

Para que sejam eliminados desperdícios de resina e pelo menos uma mão de obra direta do processo é necessária a utilização de uma Máquina Robô de Aplicação

de resina (Figura 7). A máquina vai realizar a mistura e a aplicação de resina em cada PCI nas proporções de mistura e peso corretas, eliminando assim o uso de beakers e copos descartáveis.

Figura 7 – Máquina robô de aplicação de resina



Fonte: Autor, 2023.

4.3.3 Forno de Refusão

Equipamento utilizado para acelerar o processo de cura da resina (Figura 8). As PCIs passam pelo forno aquecido a 80°C. Após o forno a resina aplicada nas PCIs está cura e cristalina.

Figura 8 – Forno de refusão



Fonte: Autor, 2023.

4.4 ANÁLISE PRELIMINAR DE SUBSTÂNCIAS

4.4.1 Solda Tin-Lead

A solda *tin lead* é amplamente utilizada ainda no Brasil e uma das principais vantagens é sua molhagem e seu excelente acabamento. Mas podemos entrar no estudo de resistência dos materiais, a solda *tin lead* possui uma temperatura de $\pm 180^\circ$ C para fundir, com isso ela apresenta uma ótima tenacidade e ductilidade, ou seja,

consegue resistir a vibrações e impactos, com isso traz muita confiabilidade a liga metálica.

Evidenciando a boa confiabilidade na manufatura eletrônica a solda *tin lead* é utilizada em setores da indústria onde exige essa confiabilidade sendo elas:

- Automobilística;
- Medicina;
- Aeronáutica;
- Militar.

4.4.1.1 Tin-Lead em Barra

A solda em barra é comumente utilizada no processo de THT, onde as barras de soldas são inseridas nos tanques da máquina de onda de solda. A utilização desse tipo de solda necessita do uso em conjunto de algum tipo de Fluxo para garantir a boa soldabilidade. Essa solda é a utilizada no cenário atual pois o produto por ter um volume de produção menor é soldado em conjunto de outros produtos com um volume maior na Máquina de Solda *Wave*.

4.4.1.2 Tin-Lead em Fio com Fluxo

São soldas com maior abrangência, sendo utilizadas no retrabalho de componentes do processo de manufatura eletrônica, esse processo comumente se utiliza estação de solda manual ou automatizada. Nos cenários propostos a utilização desse tipo de solda é de vital importância pois a Máquina Robô de Soldagem é compatível apenas com solda em fio e o produto é compatível apenas com solda *tin lead*.

4.4.2 Fluxo NC215

Fluxo de solda ou fluxo de soldagem como também pode ser chamado, é um produto utilizado para preparar a área onde será efetuada a solda, geralmente é usado em placas de circuito impresso visando remover quimicamente as oxidações nos terminais existentes na superfície. O fluxo de solda para estanho é fortemente indicado em casos onde se deseja realizar uma solda rápida, limpa e eficiente, e extremamente indicado em casos onde a soldagem será feita com fio de solda sólido (não possui fluxo interno, assim como o fio de solda com resina) e em casos onde a área a ser soldada possui sujeira, ferrugem ou graxas. O fluxo utilizado no processo é o NC215. Os fluxos que possuem a inscrição NC (*No-Clean*) são aqueles inodoros, livres de chumbo na sua composição, o que evita a liberação da fumaça com mau cheiro.

4.4.3 Resina Polimérica

A resina polimérica é um material amplamente utilizado na indústria de eletrônicos e na fabricação de placas de circuito impresso. As resinas poliméricas são utilizadas principalmente para encapsular e proteger os componentes eletrônicos na superfície da placa, oferecendo isolamento elétrico, proteção contra umidade e proteção mecânica. Para este estudo serão utilizadas duas resinas com propriedades similares de isolamento mas divergentes no tempo de cura.

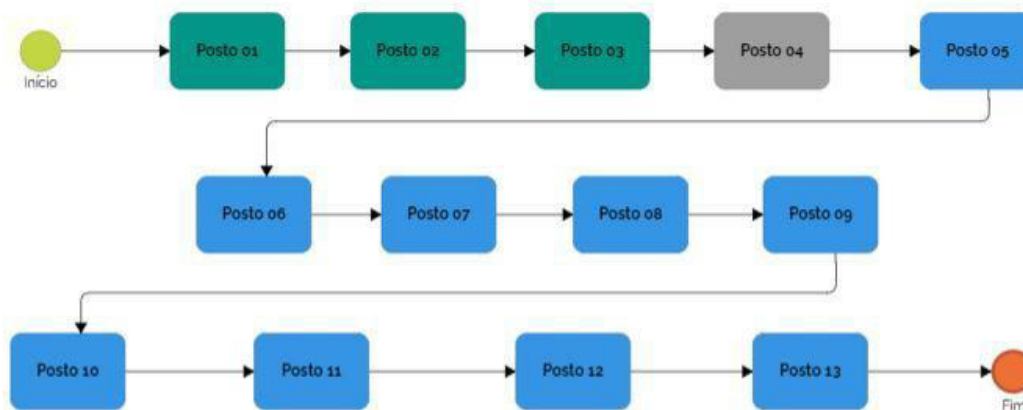
4.5 PROPOSTA PRELIMINAR DE CENÁRIOS

Para este estudo consideramos a substituição da resina polimérica padrão por uma alternativa e também a utilização de uma Máquina Robô de Aplicação de Resina.

4.5.1 Cenário 1 – Máquina Robô de Aplicação de Resina Utilizando Resina Padrão

O processo original foi balanceado e passou a ter treze postos de montagem (Figura 9), incluindo a utilização da máquina robô de aplicação de resina. Neste cenário haverá a redução de uma mão de obra direta pois atividades manuais serão substituídas pela utilização da máquina robô de aplicação de resina.

Figura 9 – Fluxograma de processo cenário 1



Fonte: Autor, 2023.

- **Posto 1:** nesta atividade o operador realiza a depanelização da PCI (Placa de Circuito Impresso) que consiste em de modo manual retirar separar duas PCIs de suas rebarbas por meio de corte realizado com discos. Em seguida o operador faz a pinagem de 7 terminais do tipo faston em cada PCI com o auxílio de uma prensa pneumática, posteriormente faz o encaixe de duas PCIs em pallet de solda e faz a leitura da etiqueta de cada PCI e o status é catalogado

no Tamba (Sistema desenvolvido pela empresa para fazer o controle de indicadores de produção);

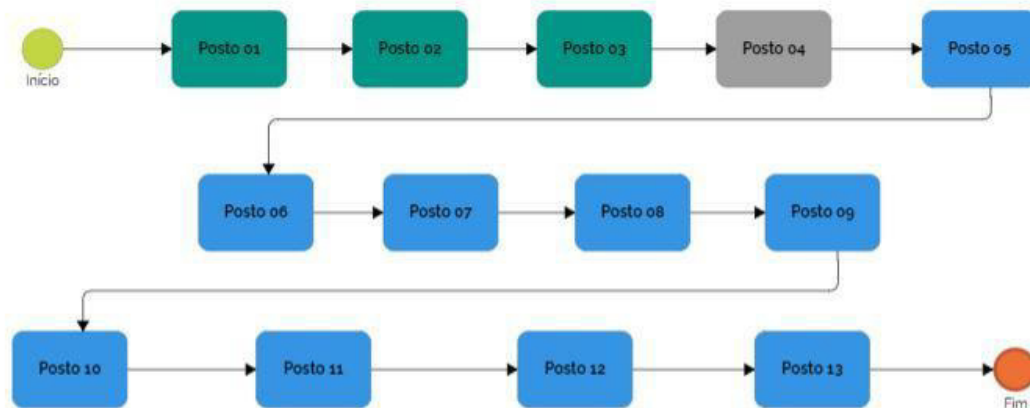
- **Posto 2:** nesta atividade um operador realiza a inserção manual de sete componentes em cada PCI que passa em movimento por uma esteira;
- **Posto 3:** nesta atividade um operador realiza a inserção manual de cinco componentes em cada PCI que passa em movimento por uma esteira e faz a leitura da etiqueta de cada PCI;
- **Posto 4:** nesta atividade as PCIs passam por *Wave Solder Machine* por meio de *conveyor* e os componentes são soldados nas placas por meio de ondas de solda do tipo *Tin Lead* (Insumo de uso obrigatório por exigência do cliente);
- **Posto 5:** nesta atividade a solda das PCIs são revisadas e é realizado o retoque de solda em pontos críticos em que a *Wave Solder Machine* não garante a soldagem 100%;
- **Posto 6:** nesta atividade é realizado um teste elétrico nas PCIs por meio de um *Fixture* acoplado à um TRI (equipamento que testa as medições elétricas). A etiqueta presente na PCI é lida e o status é catalogado no Tamba, PCIs aprovadas seguem em processo e as reprovadas são passadas para posto técnico de concerto;
- **Posto 7:** nesta atividade as PCIs recebem uma gravação de funcionalidade por meio de um *Jig* de gravação, posteriormente são encaixadas em um *Blister* (molde plástico). A etiqueta presente na PCI é lida e o status é catalogado no Tamba;
- **Posto 8:** nesta atividade o operador faz a aplicação da resina padrão acionando a Máquina Robô de Aplicação de Resina;
- **Posto 9:** nesta atividade o operador verificar se há presença de bolhas na superfície da PCI e faz o encaixe dos pallets no *conveyor* do Forno Industrial. O operador também realiza a limpeza dos *beckers*;
- **Posto 10:** nesta atividade os pallets contendo as PCIs passam por um Forno Industrial para que a resina aplicada na atividade anterior possa curar e cristalizar. O Forno Industrial possui zonas aquecidas à 80°C e o tempo de cura é constante;
- **Posto 11:** nesta atividade as PCIs saídas do forno são retiradas dos pallets e revisadas visualmente para verificar se há a presença de falhas na resina cristalizada, caso existam é aplicado resina de maneira manual na PCI e ela é segregada para que a resina cristalize, caso não exista a presença de falhas a PCI é encaixada em um Carro de *Burn-in*. Cada carro tem capacidade de comportar 64 PCIs;
- **Posto 12:** nesta atividade os carros de *burn-in* são energizados a 220V e aquecidas a 100°C durante um período de 2 horas. Esse processo envelhece as PCIs em 2 horas de utilização;
- **Posto 13:** nesta atividade é realizado do teste elétrico funcional da PCI por meio de um *Jig* de testes, caso esteja aprovado ou reprovado a etiqueta presente na PCI é lida e o status é catalogado no Tamba. As peças aprovadas

são embaladas em caixas coletivas e as reprovadas são passadas para posto técnico de concerto.

4.5.2 Cenário 2 – Máquina Robô de Aplicação de Resina Utilizando Resina Alternativa

O processo original foi balanceado e passou a ter treze postos de montagem (Figura 10), incluindo a utilização da máquina robô de aplicação de resina e o uso de uma resina alternativa com características similares a resina padrão. Neste cenário haverá a redução de uma mão de obra direta pois atividades manuais serão substituídas pela utilização da máquina robô de aplicação de resina.

Figura 10 – Fluxograma de processo cenário 2



Fonte: Autor, 2023.

- **Posto 1:** nesta atividade o operador realiza a depanelização da PCI (Placa de Circuito Impresso) que consiste em de modo manual retirar separar duas PCIs de suas rebarbas por meio de corte realizado com discos. Em seguida o operador faz a pinagem de 7 terminais do tipo faston em cada PCI com o auxílio de uma prensa pneumática, posteriormente faz o encaixe de duas PCIs em pallet de solda e faz a leitura da etiqueta de cada PCI e o status é catalogado no Tamba (Sistema desenvolvido pela empresa para fazer o controle de indicadores de produção);
- **Posto 2:** nesta atividade um operador realiza a inserção manual de sete componentes em cada PCI que passa em movimento por uma esteira;
- **Posto 3:** nesta atividade um operador realiza a inserção manual de cinco componentes em cada PCI que passa em movimento por uma esteira e faz a leitura da etiqueta de cada PCI;

- **Posto 4:** nesta atividade as PCIs passam por *Wave Solder Machine* por meio de *conveyor* e os componentes são soldados nas placas por meio de ondas de solda do tipo *Tin Lead* (Insumo de uso obrigatório por exigência do cliente);
- **Posto 5:** nesta atividade a solda das PCIs são revisadas e é realizado o retoque de solda em pontos críticos em que a *Wave Solder Machine* não garante a soldagem 100%;
- **Posto 6:** nesta atividade é realizado um teste elétrico nas PCIs por meio de um *Fixture* acoplado à um TRI (equipamento que testa as medições elétricas). A etiqueta presente na PCI é lida e o status é catalogado no Tamba, PCIs aprovadas seguem em processo e as reprovadas são passadas para posto técnico de concerto;
- **Posto 7:** nesta atividade as PCIs recebem uma gravação de funcionalidade por meio de um *Jig* de gravação, posteriormente são encaixadas em um *Blister* (molde plástico). A etiqueta presente na PCI é lida e o status é catalogado no Tamba;
- **Posto 8:** nesta atividade o operador faz a aplicação da resina alternativa acionando a Máquina Robô de Aplicação de Resina;
- **Posto 9:** nesta atividade o operador verificar se há presença de bolhas na superfície da PCI e faz o encaixe dos pallets no *conveyor* do Forno Industrial. O operador também realiza a limpeza dos *beckers*;
- **Posto 10:** nesta atividade os pallets contendo as PCIs passam por um Forno Industrial para que a resina aplicada na atividade anterior possa curar e cristalizar. O Forno Industrial possui zonas aquecidas à 80°C e o tempo de cura é constante;
- **Posto 11:** nesta atividade as PCIs saídas do forno são retiradas dos pallets e revisadas visualmente para verificar se há a presença de falhas na resina cristalizada, caso existam é aplicado resina de maneira manual na PCI e ela é segregada para que a resina cristalize, caso não exista a presença de falhas a PCI é encaixada em um Carro de *Burn-in*. Cada carro tem capacidade de comportar 64 PCIs;
- **Posto 12:** nesta atividade os carros *de burn-in* são energizados a 220V e aquecidas a 100°C durante um período de 2 horas. Esse processo envelhece as PCIs em 2 horas de utilização;
- **Posto 13:** nesta atividade é realizado do teste elétrico funcional da PCI por meio de um *Jig* de testes, caso esteja aprovado ou reprovado a etiqueta presente na PCI é lida e o status é catalogado no Tamba. As peças aprovadas são embaladas em caixas coletivas e as reprovadas são passadas para posto técnico de concerto.

4.6 SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS POR MEIO DO FLEXSIM

4.6.1 Simulação Cenário Atual

Com base na coleta dos tempos em segundo das atividades do processo atual foi gerado a Tabela 1, a mesma consiste em 5 medições de tempo para cada

atividade, cada medição foi realizada em faixas de horários diferentes para evitar dados tendenciosos:

- T1: das 7h às 8h da manhã;
- T2: das 9h às 10h da manhã;
- T3: das 11h às 12h da manhã;
- T4: das 13h às 14h da tarde;
- T5: das 15h às 16h da tarde.

Tabela 1 – Tempos das atividades do cenário real

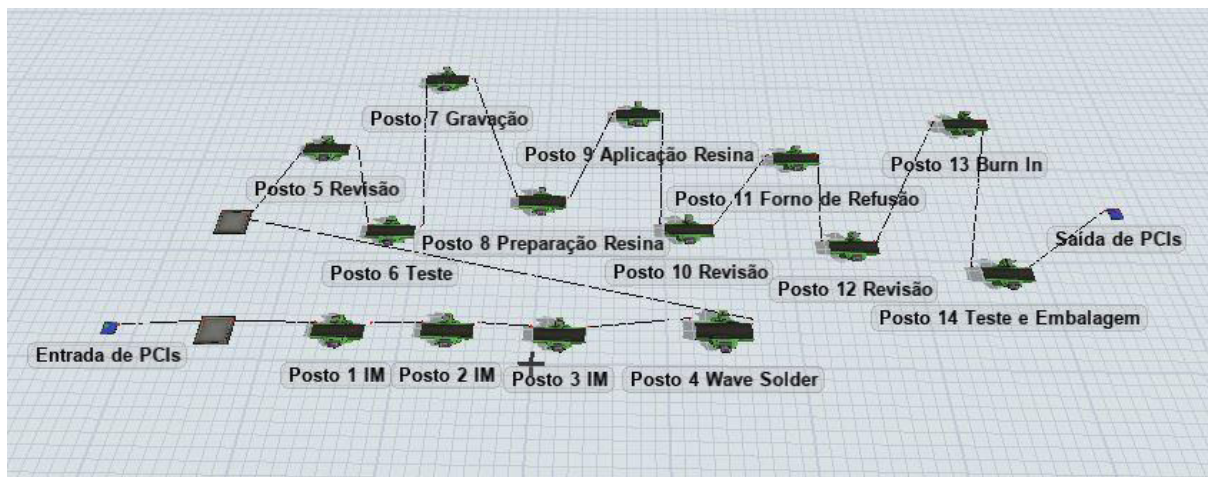
POSTO	ATIVIDADES	T1	T2	T3	T4	T5	MÉDIA	FR	TEMPO PADRÃO
1	Pinagem + Depanelização PCI Power + Inserção de placas nos Paletes	68,1	69,9	67,5	70,9	69,8	69,2	1/2	34,6
2	Inserção Manual Power	70,1	69,3	71,5	72,1	73,6	71,3	1/2	35,7
3	Inserção Manual Power + Registro no Tamba	72,8	73,2	71,0	74,1	73,1	72,8	1/2	36,4
4	Máquina Wave Solder	155,0	155,0	155,0	155,0	155,0	155,0	1/2	77,5
5	Revisão de Solda	50,5	49,8	51,2	50,0	52,6	50,8	1/2	25,4
6	TRI Power + Registro no Tamba Power e Marcação Relé PWR	41,6	41,5	42,0	42,8	42,5	42,1	1/2	21,0
7	Gravação Eprom + Registro no Tamba Power + Inserção da PCI no Blister Plástico e Inserção da PCI no Pallet	77,2	78,7	79,9	77,3	76,5	77,9	1/2	39,0
8	Pesagem + Mistura + Distribuição da Resina nos Copos	240,0	241,0	240,5	242,0	241,3	241,0	1/8	30,1

9	Aplicação de Resina na PCI	30,5	31,0	30,9	31,5	31,9	31,2	1/2	15,6
10	Revisão do Palete c/ Power e Introdução no forno + Conexão no Carrinho + Lavagem de Becker	69,3	68,0	69,8	68,8	70,4	69,3	1/2	34,6
11	Forno	1080,0	1080,0	1080,0	1080,0	1080,0	1080,0	1/2	540,0
12	Revisão Pós-Forno Bolha + Conexão Power no carrinho	30,5	30,0	31,9	30,8	31,0	30,8	1/2	15,4
13	Burn-in	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0	0	1,9
14	Teste Funcional Pós Burn-in Power + Embalagem	72,0	73,9	70,8	72,9	71,5	72,2	1/2	36,1

Fonte: Autor, 2023.

A simulação foi criada no software *FlexSim* com base nos dados da Tabela 1, ficando no seguinte layout de acordo com a Figura 11.

Figura 11 – Simulação FlexSim do cenário real



Fonte: Autor, 2023.

Com base na simulação de um turno de 8,75h tivemos uma capacidade de produção igual a 634 unidades, resultado aproximado ao real de 640 unidades apresentando uma confiabilidade de 99% e com isso foi considerado válido o cenário atual. Neste cenário diariamente existe uma perda de 12,69% devido a perdas de resina nas atividades manuais o que representa aproximadamente 83 peças, a resina padrão utilizada corresponde a 7% do custo do produto e o processo utiliza 14 mãos de obras diretas o que corresponde a 15% do custo do produto.

4.6.2 Simulação Cenário 1 – Máquina Robô de Aplicação de Resina Utilizando Resina Padrão

Para realizar a simulação do cenário 2 foram consideradas as informações referentes a Tabela 2. Nesse novo cenário as atividades foram balanceadas devido a retirada de atividades manuais na aplicação de resina, a mesma consiste em 5 medições de tempo para cada atividade, cada medição foi realizada em faixas de horários diferentes para evitar dados tendenciosos:

- T1: das 7h às 8h da manhã;
- T2: das 9h às 10h da manhã;
- T3: das 11h às 12h da manhã;
- T4: das 13h às 14h da tarde;
- T5: das 15h às 16h da tarde.

Tabela 2 – Tempos das atividades do cenário 1

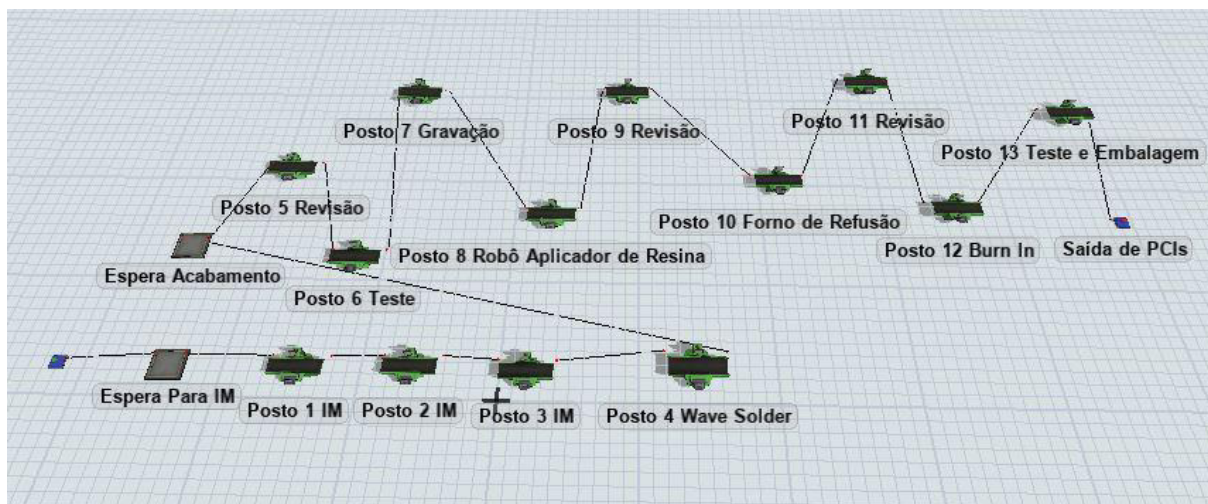
POSTO	ATIVIDADES	T1	T2	T3	T4	T5	MÉDIA	FR	TEMPO PADRÃO
1	Pinagem + Depanelização PCI Power + Inserção de placas nos Paletes	68,1	69,9	67,5	70,9	69,8	69,2	1/2	34,6
2	Inserção Manual Power	70,1	69,3	71,5	72,1	73,6	71,3	1/2	35,7
3	Inserção Manual Power + Registro no Tamba	72,8	73,2	71,0	74,1	73,1	72,8	1/2	36,4

4	Máquina Wave Solder	155,0	155,0	155,0	155,0	155,0	155,0	1/2	77,5
5	Revisão de Solda	50,5	49,8	51,2	50,0	52,6	50,8	1/2	25,4
6	TRI Power + Registro no Tamba Power e Marcação Relé PWR	41,6	41,5	42,0	42,8	42,5	42,1	1/2	21,0
7	Gravação Eprom + Registro no Tamba Power + Inserção da PCI no Blister Plástico e Inserção da PCI no Pallet	77,2	78,7	79,9	77,3	76,5	77,9	1/2	39,0
8	Aplicação de Resina na PCI por meio de Robô	20,5	21,0	20,9	21,5	21,9	21,2	1/2	10,6
9	Revisão do Palete c/ Power e Introdução no forno + Conexão no Carrinho + Lavagem de Becker	69,3	68,0	69,8	68,8	70,4	69,3	1/2	34,6
10	Forno	1080,0	1080,0	1080,0	1080,0	1080,0	1080,0	1/2	540,0
11	Revisão Pós-Forno Bolha + Conexão Power no carrinho	30,5	30,0	31,9	30,8	31,0	30,8	1/2	15,4
12	Burn-in	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0	0	1,9
13	Teste Funcional Pós Burn-in Power + Embalagem	72,0	73,9	70,8	72,9	71,5	72,2	1/2	36,1

Fonte: Autor, 2023.

A simulação foi criada no software *FlexSim* com base nos dados da Tabela 2, ficando no seguinte layout de acordo com a Figura 12.

Figura 12 – Simulação FlexSim do cenário 1



Fonte: Autor, 2023.

Com base na simulação de um turno de 8,75h tivemos uma capacidade de produção igual a 764 unidades, resultando num aumento de 20,50% em relação ao cenário real de 634 unidades. Neste cenário diariamente existe uma perda de 2,89% devido a perdas de resina nas atividades manuais o que representa aproximadamente 19 peças, a resina padrão utilizada corresponde a 7% do custo do produto e o processo utiliza 13 mãos de obras diretas o que corresponde a 13,93% do custo do produto.

4.6.3 Simulação Cenário 2 – Máquina Robô de Aplicação de Resina Utilizando Resina Alternativa

Para realizar a simulação do cenário 2 foram consideradas as informações referentes a Tabela 3. Nesse novo cenário as atividades foram balanceadas devido a retirada de atividades manuais na aplicação de resina e no uso da resina alternativa, a mesma consiste em 5 medições de tempo para cada atividade, cada medição foi realizada em faixas de horários diferentes para evitar dados tendenciosos:

- T1: das 7h às 8h da manhã;
- T2: das 9h às 10h da manhã;
- T3: das 11h às 12h da manhã;
- T4: das 13h às 14h da tarde;
- T5: das 15h às 16h da tarde.

Tabela 3 – Tempos das atividades do cenário 3

POSTO	ATIVIDADES	T1	T2	T3	T4	T5	MÉDIA	FR	TEMPO PADRÃO
-------	------------	----	----	----	----	----	-------	----	--------------

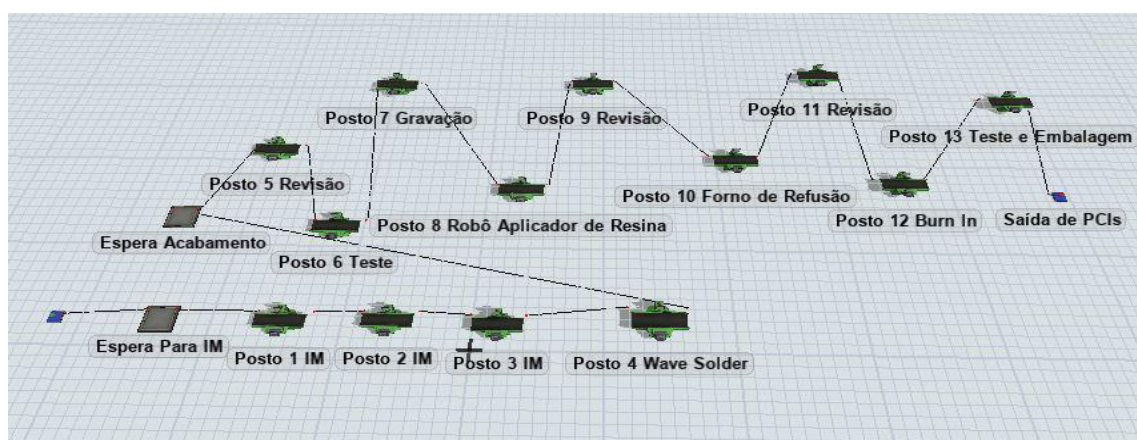
1	Pinagem + Depanelização PCI Power + Inserção de placas nos Paletes	68,1	69,9	67,5	70,9	69,8	69,2	1/2	34,6
2	Inserção Manual Power	70,1	69,3	71,5	72,1	73,6	71,3	1/2	35,7
3	Inserção Manual Power + Registro no Tamba	72,8	73,2	71,0	74,1	73,1	72,8	1/2	36,4
4	Máquina Wave Solder	155,0	155,0	155,0	155,0	155,0	155,0	1/2	77,5
5	Revisão de Solda	50,5	49,8	51,2	50,0	52,6	50,8	1/2	25,4
6	TRI Power + Registro no Tamba Power e Marcação Relé PWR	41,6	41,5	42,0	42,8	42,5	42,1	1/2	21,0
7	Gravação Eprom + Registro no Tamba Power + Inserção da PCI no Blister Plástico e Inserção da PCI no Pallet	77,2	78,7	79,9	77,3	76,5	77,9	1/2	39,0
8	Aplicação de Resina na PCI por meio de Robô	40,5	41,0	40,9	41,5	41,9	41,2	1/2	20,6
9	Revisão do Paleta c/ Power e Introdução no forno + Conexão no Carrinho + Lavagem de Becker	69,3	68,0	69,8	68,8	70,4	69,3	1/2	34,6
10	Forno	600,0	600,0	600,0	600,0	600,0	600,0	1/2	300,0
11	Revisão Pós-Forno Bolha + Conexão Power no carrinho	30,5	30,0	31,9	30,8	31,0	30,8	1/2	15,4
12	Burn-in	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0	0	1,9

13	Teste Funcional Pós Burn-in Power + Embalagem	72,0	73,9	70,8	72,9	71,5	72,2	1/2	36,1
----	---	------	------	------	------	------	-------------	-----	-------------

Fonte: Autor, 2023.

A simulação foi criada no *software FlexSim* com base nos dados da Tabela 3, ficando no seguinte layout de acordo com a Figura 13.

Figura 13 – Simulação FlexSim do cenário 2



Fonte: Autor, 2023.

Com base na simulação de um turno de 8,75h tivemos uma capacidade de produção igual a 694 unidades, resultando num aumento de 9,46% em relação ao cenário real de 634 unidades. Neste cenário diariamente existe uma perda de 5% devido a perdas de resina nas atividades manuais o que representa aproximadamente 32 peças, a resina padrão utilizada corresponde a 10% do custo do produto e o processo utiliza 13 mãos de obras diretas o que corresponde a 10,92% do custo do produto.

4.7 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.7.1 Inovações em Relação ao Cenário Atual

Os cenários propostos apresentam como principais inovações o uso da simulação de processos por meio do *FlexSim* para tomada de decisão e o desenvolvimento de bases de soldagem mais resistentes, a utilização da máquina robô de aplicação de resina e a utilização de uma resina alternativa.

4.7.2 Vantagens e Desvantagens dos Cenários Propostos

4.7.2.1 Cenário 1

Tabela 4 – Vantagens e desvantagens do cenário 1

Vantagens Cenário 1	Desvantagens Cenário 1
<ul style="list-style-type: none"> ● Melhor distribuição das atividades. ● Redução de custo por não utilização de uma mão de obra direta; ● Redução de desperdícios de resina; ● Eliminação de insumos como o copo descartável e o Becker. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Capacidade produtiva limitada; ● Máquina com uso dedicado; ● Uso de mão de obra direta na operação da máquina robô.

Fonte: Autor, 2023.

4.7.2.2 Cenário 2

Tabela 5 – Vantagens e desvantagens do cenário 2

Vantagens Cenário 2	Desvantagens Cenário 2
<ul style="list-style-type: none"> ● Melhor distribuição das atividades. ● Redução de custo por não utilização de uma mão de obra direta; ● Redução de desperdícios de resina; ● Eliminação de insumos como o copo descartável e o Becker; Redução de tempo de forno. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Capacidade produtiva limitada; ● Máquina com uso dedicado; ● Uso de mão de obra direta na operação da máquina robô; ● Resina alternativa 4 vezes mais cara que a resina padrão.

Fonte: Autor, 2023.

5 CONCLUSÕES

O estudo possibilitou a obtenção de resultados positivos de modo que os objetivos propostos foram alcançados. Sendo eles os seguintes:

- Realizar a simulação do cenário atual: processo atual utilizando resina padrão;
- Realizar a simulação do primeiro cenário proposto: atividades manuais substituídas por automação e utilização da resina padrão;
- Realizar a simulação do segundo cenário proposto: atividades manuais substituídas por automação e utilização da resina alternativa.

O cenário atual que representa o processo de produção de placas para lava-louças foi simulado com sucesso de modo que foi possível identificar gargalos, verificar a capacidade produtiva do processo, verificar a semelhanças da simulação com o cenário real e usar a mesma de parâmetros para validar as demais simulações

propostas. O estudo teve como um de seus objetivos propor cenários de produção nos quais houvesse aumento de capacidade produtiva e de produtividade.

Cada cenário apresentava uma configuração na qual o processo havia sido balanceado de modo a evitar gargalos observados na simulação do cenário real e a reduzir mão-de-obra direta de modo que não impactasse de maneira negativa na capacidade produtiva de cada cenário. Vale lembrar que os dois cenários propostos apresentaram resultados positivos devido ao aumento de capacidade produtiva gerado pela substituição de atividades manuais e pelo uso de resina alternativa. Podemos observar na Tabela 6 um resumo dos principais resultados:

Tabela 6 – Comparativo de resultados

	Cenário Real	Cenário 1	Cenário 2
Quantidade MOD (Mão de Obra Direta)	14	13	13
%MOD do Custo de Produto	15%	13,93%	10,93%
Capacidade Produtiva	634 PCIs	764 PCIs	694 PCIs
Tempo de Mistura e Aplicação de Resina	45,7s por PCI	10,6s por PCI	20,6s por PCI
Tempo de Cura em Forno	540s por PCI	540s por PCI	300s por PCI
% Resina do Custo	7%	7%	10%
% Desperdício de Resina	12,89%	2,89%	5%

Fonte: Autor, 2023.

Com base nos resultados da simulação o Cenário 1 apresenta os melhores resultados e se mostra o ideal devido ao aumento de capacidade, a redução de desperdícios pois o processo manual por dia desperdiça resina equivalente 12,69% de uma produção diária de 764 unidades.

Portanto, conclui-se que o estudo foi bem sucedido na realização das simulações, possibilitando ainda novas simulações de cenários para novos produtos e temas para trabalhos futuros usando este como base para que os resultados possam ser mais satisfatórios visando maior competitividade com relação aos custos de produção no meio fabril industrial.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Uma vez que esse estudo foi concluído com sucesso, propõem-se que para trabalhos futuros os seguintes temas sejam abordados:

- Utilização do *FlexSim* para simular o comportamento do processo por longos períodos;
- Utilização do *FlexSim* para simular o retorno do investimento necessário para aquisição de maquinário;
- Utilização do *FlexSim* para simular aumento de capacidade produtiva;
- Utilização do *FlexSim* como base para a criação de processos de novos produtos e introdução de linhas pilotos;
- Utilização do *FlexSim* para simular comportamento de processo com mudanças de matéria prima e mudança de mão-de-obra direta treinada por mão-de-obra direta em treinamento;
- Utilização do *FlexSim* para simular comportamento de processo com mudança de *layout* de processo e verificando necessidade de instalações elétricas, pneumáticas e de exaustão.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R. A. **Modelagem de processos organizacionais: conceitos e técnicas**, 2019.

AZEVEDO, F. **Modelagem de Processos: Ferramentas Avançadas para Análise e Simulação**, 2020.

BALLOU, R. H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos/Logística Empresarial**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2017.

BANKS, J. *et al.* **Discrete-event system simulation**. Prentice Hall, 2010.

CHASE, R. B.; JACOBS, F. R. **Administração da Produção para a Vantagem Competitiva**. 14. ed. Porto Alegre: AMGH, 2018.

CHOPRA, S.; MEINDL, P. **Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation**. 6th ed. Pearson, 2016.

CÔRTEZ, P. C.; WERNKE, R.; FERREIRA, S. C. **Uso de Simulações na Avaliação de Sistemas de Planejamento e Controle da Produção**. *Produção*, v. 28, e20170081, 2018.

COSTA, M. S. **Abordagens Contemporâneas em Modelagem de Processos**. Editora Z, 2018.

CRAIGHEAD, C. W. et al. **Sustainable Operations Management: Integrating Sustainability in the Operations and Supply Chain Management**. *Journal of Operations Management*, v. 44, p. 1-6, 2021.

CUNHA, L. A. **Melhoria Contínua e Eficiência Operacional através da Modelagem de Processos**. *Revista de Gestão Empresarial*, vol. 10, nº 2, p. 45-58, 2023.

DAVENPORT, T. H. **Process Innovation: Reengineering Work through Information Technology**. Harvard Business Press, 1993.

FERREIRA, P. R. **Análise de Métricas em Modelagem de Processos: Estudo de Caso em uma Empresa de Tecnologia**. *Dissertação de Mestrado*, Universidade W, 2022.

FLEXSIM. **About FLEXSim**. Disponível em: <https://www.flexsim.com/about/>. Acesso em: 23 mai. 2023.

FLEXSIM. **Features**. Disponível em: <https://www.flexsim.com/features/>. Acesso em: 23 mai. 2023.

FONSECA, A. B. **Modelagem de Processos como Ferramenta Estratégica para a Inovação Organizacional**. *Revista de Administração Moderna*, vol. 15, nº 3, p. 78-92, 2021.

FREY, C. B.; OSBORNE, M. A. **The Future of Employment: How Susceptible Are Jobs to Computerisation? Technological Forecasting and Social Change**, v. 114, p. 254-280, 2017.

GONÇALVES, J. et al. **Modelagem de Processos: Abordagens e Casos Práticos**. Editora ABC, 2020.

GROOVER, M. P. **Automação, Produção e Sistemas**. 4ª ed. LTC, 2015.

HAMMER, M.; CHAMPY, J. **Reengineering the Corporation: A Manifesto for Business Revolution**. HarperCollins, 1994.

HARMON, P. C. **Business Process Change: A Guide for Business Managers and BPM and Six Sigma Professionals**. Morgan Kaufmann, 2015.

HASHEMI, A. M. et al. **Business Process Management (BPM) and Information Technology (IT) Alignment: A Qualitative Study**. *International Journal of Information Management*, v. 38, n. 1, p. 119-129, 2018.

HEIZER, Jay; RENDER, Barry. **Operations Management: Sustainability and Supply Chain Management**. 11th ed. Pearson, 2014.

HOBBSAWM, E. J. **A Era das Revoluções: Europa 1789-1848**. Paz e Terra, 1996.

JACOBS, F. R.; CHASE, R. B. **Operations and Supply Chain Management**. 16th ed. New York: McGraw-Hill, 2021.

KAGERMANN, H. et al. **Industry 4.0: Mitigating the Challenges of Production Control**. In: 20th International Conference on Production Research (ICPR), 2013.

LANDES, D. S. **A Riqueza e a Pobreza das Nações: Por que Algumas São Tão Ricas e Outras Tão Pobres**. Editora Campus, 2003.

LAUDON, K. C.; LAUDON, J. P. **Management Information Systems: Managing the Digital Firm**. 15th ed. Pearson, 2016.

LEE, J. et al. **A Networked Platform for IoT-Enabled Smart Objects**. IEEE Internet Computing, v. 19, n. 4, p. 18-26, 2015.

LIMA, C. M. **Métricas de Desempenho na Análise de Processos: Uma Revisão Sistemática**. Revista de Engenharia de Produção, vol. 8, nº 4, p. 112-126, 2017.

MANTOUVALOU, I. A. **The First Industrial Revolution**. Environ Hist Durh, v. 3, n. 1, p. 21-35, 2007.

MARODIN, G. et al. **An Industry 4.0 Research Agenda for Sustainable Business Models**. Procedia Manufacturing, v. 8, p. 1-7, 2017.

MARTINS, D. S. **Otimização de Processos Organizacionais através da Modelagem**. Tese de Doutorado, Universidade DEF, 2019.

MONKS, J. G.; CURRAN, R. A. **Introduction to Business Process Management**. Routledge, 2020.

MOREIRA, Daniel Augusto. **Estatística básica**. 9. ed. Rio de Janeiro: Cengage Learning, 2010.

NASCIMENTO, E. R. **Adaptação da Modelagem de Processos em um Ambiente Dinâmico: Um Estudo de Caso em uma Empresa de Logística**. Revista Brasileira de Gestão Empresarial, vol. 7, nº 1, p. 23-35, 2019.

OLIVEIRA, A. F.; SACOMANO NETO, M. **Planejamento, Programação e Controle da Produção: Sequenciamento de Atividades em Uma Fábrica de Equipamentos de Energia Solar**. Revista Gestão Industrial, v. 16, n. 2, p. 165-175, 2020.

OLIVEIRA, G. **Comunicação Efetiva através da Modelagem de Processos**. Revista de Gestão de Pessoas, vol. 12, nº 2, p. 56-68, 2020.

PEREIRA, L. S. **Identificação de Gargalos em Processos Organizacionais: Um Estudo de Caso em uma Indústria de Manufatura**. Revista de Engenharia Industrial, vol. 5, nº 3, p. 87-100, 2021.

PIRES, H. V. **Adoção da Modelagem de Processos para a Transformação Digital em Empresas Multinacionais**. Anais do Congresso Internacional de Gestão e Inovação, p. 123-136, 2022.

PORTER, M. E.; VAN DER LINDE, C. **Green and Competitive: Ending the Stalemate**. Harvard Business Review, v. 73, n. 5, p. 120-134, 1995.

RIFKIN, J. **A Terceira Revolução Industrial: Como o Poder Lateral está Transformando a Energia, a Economia e o Mundo**. Editora M. Books do Brasil, 2011.

ROBINSON, S. et al. **Simulation: The Practice of Model Development and Use**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2004.

ROBINSON, S. *et al.* **Simulation: the practice of model development and use**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2012.

RODRIGUES, M. N. **BPMN como Ferramenta de Comunicação em Projetos de Modelagem de Processos**. Revista de Gestão de Projetos, vol. 9, nº 4, p. 34-47, 2018.

ROPER, Alan H. **The Takt Time: Pull Production Like You've Never Seen It Before**. CRC Press, 2012.

ROSEMANN, M.; VOM BROCKE, J. **The Six Core Elements of Business Process Management**. In: Handbook on Business Process Management 1. Springer, 2015. p. 105-122.

SANTOS, A. C. et al. **Métricas de Desempenho na Avaliação de Processos: Uma Análise Comparativa**. Revista Brasileira de Administração, vol. 14, nº 2, p. 67-81, 2019.

SANTOS, J. R. **Modelagem de Processos e Eficiência Operacional: Um Estudo de Caso em uma Empresa de Varejo**. Dissertação de Mestrado, Universidade GHI, 2016.

SCHWAB, K. **A Quarta Revolução Industrial**. Editora Edipro, 2016.

SILVA, F. A. **Modelagem de Processos: Fundamentos e Aplicações Práticas**. Editora JKL, 2018.

SLACK, N. et al. **Administração da Produção**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

SMIL, V. **Creating the Twentieth Century: Technical Innovations of 1867-1914 and Their Lasting Impact**. Oxford University Press, 2005.

STADLER, H. et al. **Industry 4.0 and Manufacturing Operations Management: Survey and Comparison of Data Protection Aspects in Germany and the USA**. International Journal of Production Research, v. 58, n. 2, p. 375-389, 2020.

VOM BROCKE, J. et al. **Ten Principles of Good Business Process Management**. Business Process Management Journal, v. 20, n. 4, p. 530-548, 2014.

WOMACK, James P.; JONES, Daniel T.; ROOS, Daniel. **A Máquina que Mudou o Mundo: Baseado no Estudo do Instituto de Tecnologia de Massachusetts sobre o Futuro da Indústria Automobilística**. 5ª ed. Bookman Editora, 1992.

YAO, W. *et al.* **Enabling Smart Manufacturing Research and Development Using Big Data Analytics**. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, v. 97, n. 5-8, p. 2005-2016, 2018.

YIN, Robert K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.