

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

JONES RUBENS BATISTA FAÇANHA

**APLICAÇÃO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL COM O USO DO SOFTWARE
FLEXSIM EM UMA CÉLULA DE TESTES FUNCIONAIS DE PLACAS
ELETRÔNICAS**

MANAUS
2024

JONES RUBENS BATISTA FAÇANHA

**APLICAÇÃO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL COM O USO DO SOFTWARE
FLEXSIM EM UMA CÉLULA DE TESTES FUNCIONAIS DE PLACAS
ELETRÔNICAS**

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 Bacharel em Engenharia de Produção

Orientadora: Profa. Dra. Nadja Polyana Felizola Cabete

MANAUS
2024

JONES RUBENS BATISTA FAÇANHA

**APLICAÇÃO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL COM O USO DO SOFTWARE
FLEXSIM EM UMA CÉLULA DE TESTES FUNCIONAIS DE PLACAS
ELETRÔNICAS**

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

Data de aprovação: Manaus (AM), 09 de dezembro de 2024.

Banca examinadora:



Nadja Polyana Felizola Cabete, Profa. Dra.
Universidade do Estado do Amazonas



Renata da Encarnação Onety, Profa. Dra.
Universidade do Estado do Amazonas



Roberto Higino Pereira da Silva, Prof. MSc.
Universidade do Estado do Amazonas

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, quero agradecer ao meu amado Deus, por me sustentar até este momento. Agradeço à minha querida família, pelo apoio constante, pela confiança nos meus sonhos e objetivos.

A engenharia de produção foi a melhor escolha que eu poderia ter feito, não só por ampliar meus horizontes, mas pelas infinitas possibilidades de atuação. Foi o curso que me proporcionou incríveis amigos e colegas de profissão, além de uma oportunidade única de ser presidente de uma empresa júnior, participar de projetos de P&D e monitorias. Também sou grato pelos reconhecimentos que recebi ao longo dessa jornada. Não tenho palavras para expressar minha imensa gratidão.

Gostaria também de agradecer aos meus queridos professores: Nadja Cabete, Rejane Ferreira, Joésia Pacheco, Silvio Romero, Antônio Harb e Carly Pinheiro, pelas valiosas orientações, dicas e ensinamentos de vida.

Por fim, reforço minha eterna gratidão ao curso. Nunca imaginei viver tantas experiências maravilhosas durante a graduação. Agora, sigo em busca de novos desafios e oportunidades.

RESUMO

A simulação computacional tem se consolidado como uma poderosa ferramenta para a tomada de decisão, embora ainda seja pouco conhecida por muitas empresas. Neste trabalho, utilizou-se o *software FlexSim* para simular e modelar o processo de uma célula de testes funcionais de placas eletrônicas em uma empresa de componentes eletrônicos localizada em Manaus-AM. O objetivo foi simular diferentes cenários produtivos, a fim de otimizar o processo em análise. O método de pesquisa adotado foi o de modelagem e simulação, permitindo a representação do processo atual de testes enquanto os dados de entrada para o modelo eram coletados. Logo, foi possível construir o modelo computacional, validado com base nas unidades produzidas por hora do processo real. Com o modelo validado, foram criados três cenários, considerando parâmetros como a redução de *fixtures*, a eliminação da etapa de *BIOS* e a realização de alguns testes em paralelo. Entre esses cenários, o mais viável demonstrou ser aquele em que os testes são realizados em paralelo.

Palavras-chave: pesquisa operacional; otimização de processos; produtividade; mapeamento de processos.

ABSTRACT

Computational simulation has established itself as a powerful decision-making tool, although it is still not widely known by many companies. In this work, the FlexSim software was used to simulate and model the process of a functional testing cell for electronic boards in an electronics components company located in Manaus-AM. The goal was to simulate different production scenarios to optimize the analyzed process. The research method adopted was modeling and simulation, enabling the representation of the current testing process while input data for the model were collected. Subsequently, it was possible to construct the computational model, validated based on the units produced per hour in the real process. With the validated model, three scenarios were created, considering parameters such as the reduction of fixtures, the elimination of the BIOS step, and the execution of some tests in parallel. Among these scenarios, the most viable proved to be the one in which the tests were performed in parallel.

Keywords: operational research; process optimization; productivity; process mapping.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Procedimento aplicado em um estudo de simulação	20
Figura 2 - <i>Logs</i> convertidos para formato <i>Excel</i>	23
Figura 3 - Tabulação dos vídeos	23
Figura 4 - Resultado das distribuições do <i>ExpertFit</i>	24
Figura 5 - Distribuições dos <i>logs</i>	26
Figura 6 - Modelo Conceitual_sequência_1	27
Figura 7 - Modelo Conceitual_sequência_2	28
Figura 8 - Modelo Conceitual_sequência_3	29
Figura 9 - Modelo Conceitual_sequência_4	30
Figura 10 - Modelo 3D	31
Figura 11 - Fluxo do processo no <i>Process Flow</i>	32
Figura 12 - <i>Process Flow</i> _sequência_1	33
Figura 13 - <i>Process Flow</i> _sequência_2	34
Figura 14 - <i>Process Flow</i> _sequência_3	35
Figura 15 - <i>Process Flow</i> _sequência_4	36
Figura 16 - <i>Schedule Source</i> : Placa	37
Figura 17 - <i>Schedule Source</i> : Placa	38
Figura 18 - <i>Parameters</i> usados no modelo	39
Figura 19 - Bancada com os <i>fixtures</i>	40
Figura 20 - <i>Status</i> de utilização por componente	41
Figura 21 - <i>Status</i> de utilização média dos <i>fixtures</i>	42
Figura 22 - Saída total de placas	42
Figura 23 - Saída por <i>fixture</i>	42
Figura 24 - UPH e Ineficiência do processo	43
Figura 25 - Redução de <i>fixture</i>	43
Figura 26 - Saída total do cenário atual vs cenário 1	44
Figura 27 - <i>Status</i> de utilização por componente cenário atual vs cenário 1	44
Figura 28 - <i>Status</i> de utilização média dos <i>fixtures</i> cenário 1	44
Figura 29 - <i>Status</i> de utilização por componente cenário atual vs cenário 2	45
Figura 30 - Saída total do cenário atual vs cenário 2	45
Figura 31 - Saída total do cenário atual vs cenário 3	47
Figura 32 - <i>Status</i> de utilização por componente cenário atual vs cenário 3	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Replicações da quantidade de <i>fixtures</i> e produção total no cenário 2	46
Tabela 2 - Validação do modelo	48
Tabela 3 - Comparação dos cenários em relação ao cenário atual	48
Tabela 4 - Análise do UPH e UPH com ineficiência comparados ao cenário atual ...	49

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 HIPÓTESES	11
1.2 OBJETIVOS	11
1.2.1 Objetivo Geral	11
1.2.2 Objetivos Específicos	11
1.3 LIMITAÇÕES DO ESTUDO OU PESQUISA	12
1.4 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO	12
2 REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL	13
2.1.1 Modelos de simulação	13
2.1.1.1 Estáticos vs. Dinâmicos	14
2.1.1.2 Determinísticos vs. Estocásticos	14
2.1.1.3 Contínuos vs. Discretos:	14
2.2 SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS (SED)	15
2.3 MODELAGEM DOS PROCESSOS	15
2.4 O FLEXSIM COMO FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS	16
2.5 SIMULAÇÃO NA INDÚSTRIA 4.0	17
2.6 TESTES FUNCIONAIS	17
3 O MÉTODO DE PESQUISA	19
3.1 CRIAÇÃO DO CENÁRIO ATUAL	19
3.2 OBTENÇÃO E TRATAMENTO DOS DADOS	22
3.2.1 Obtenção de tempos dos testes	22
3.2.2 Cronoanálise	24
3.2.3 Modelo conceitual: cenário atual	25
4 DESCRIÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	31
4.1 MODELO COMPUTACIONAL - CENÁRIO ATUAL	31
4.2 APLICAÇÃO DAS FERRAMENTAS	39
4.2.1 Inventor®	39
4.2.2 Flexsim®	40
4.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS	41
4.3.1 Cenário Atual	41
4.3.2 Cenário 1: redução de fixtures	43
4.3.3 Cenário 2: sem a atualização da bios	45
4.3.4 Cenário 3: paralelo	46

4.4 ANÁLISE COMPARATIVA DOS CENÁRIOS.....	47
5 CONCLUSÕES.....	50
REFERÊNCIAS.....	51

1 INTRODUÇÃO

Aprimorada continuamente ao longo dos anos, a simulação computacional ainda é pouco conhecida por algumas empresas, apesar de suas vastas capacidades. Esta ferramenta poderosa oferece uma ampla gama de possibilidades para auxiliar na tomada de decisões (Corrêa; Corrêa, 2022).

Sob a perspectiva de Chwif e Medina (2010), ao empregar a simulação o objetivo é gerar propostas que auxiliem na tomada de decisões, visando sempre à organização do sistema em análise. O modelo de simulação procura representar o comportamento próximo do real do sistema, porém deve-se evitar uma complexidade maior que a do próprio sistema, o que poderia resultar em um problema maior a ser resolvido do que o próprio sistema em análise.

No intuito de contribuir para a melhoria contínua, a empresa em estudo atua em várias frentes de pesquisa tanto com foco em produtos inovadores quanto na otimização de seus processos produtivos, integrando conceitos da indústria 4.0. Um dos desafios específicos dentro desse cenário de melhoria é o processo de testes funcionais em placas eletrônicas, que é bastante demorado, pois combina testes automáticos e manuais, todos realizados por um único operador em 9 *fixtures* (dispositivos ou acessórios de teste) dentro de uma célula.

Por meio da simulação pretende-se responder a seguinte questão: Como otimizar esse processo e determinar a quantidade ideal de *fixtures* na célula, considerando a utilização eficiente do operador?

Para responder a essa questão, o presente trabalho teve como objetivo simular computacionalmente o processo atual de uma célula de testes funcionais das placas do produto “*Warlock MLK*”, em uma empresa que fabrica componentes eletrônicos.

Nesse contexto, optou-se em utilizar o *FlexSim*, que é um *software* de simulação computacional de eventos discretos para o desenvolvimento desta pesquisa. Empresas em todo o mundo utilizam o *FlexSim* para resolver uma variedade de problemas e tomadas de decisões complexas, beneficiando-se de seus dados e indicadores para orientar suas escolhas. Segundo Bassi *et al.* (2021), o *FlexSim* oferece uma série de funcionalidades, incluindo a montagem de dados brutos, modelagem de entradas, geração de gráficos, exibição em realidade virtual (VR), execução de simulações de modelos, entre outros.

A intenção de simular o processo foi analisar e otimizar o processo de testes, identificando seus tempos de execução, avaliando a adequação da quantidade de *fixtures* no posto de trabalho e a utilização do operador em conjunto com o *fixture*. Isso foi possível através da criação de cenários no próprio *software* de simulação.

Dentre os cenários elaborados, o cenário real serviu como referência, sendo simulado um turno de 7 horas utilizando dados extraídos dos registros armazenados nos sistemas (*logs*) e da cronoanálise realizada através dos vídeos registrados durante as visitas *in loco*. Os outros três cenários foram definidos com diferentes parâmetros, como a redução de *fixtures*, a eliminação da etapa de *BIOS* e a realização de alguns testes em paralelo, possibilitando a escolha do cenário ideal.

1.1 HIPÓTESES

- **Hipótese 1:** O cenário simulado com redução de *fixtures* irá aumentar a produtividade do operador;
- **Hipótese 2:** O cenário simulado com a eliminação da etapa do processo de atualização irá otimizar o tempo de execução dos testes;
- **Hipótese 3:** O cenário simulado com as conexões e desconexões dos cabos em paralelo irá aumentar a produtividade do operador.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Modelar e simular computacionalmente o processo atual de uma célula de testes funcionais das placas do produto “*Warlock MLK*”, com intuito de avaliar os impactos de diferentes cenários.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Mapear as etapas do processo atual dos testes funcionais;
- Coletar e tratar os dados para serem utilizados no modelo computacional;
- Construir um modelo computacional que represente o processo atual;
- Simular o cenário com redução de *fixtures*, verificando utilização do operador em conjunto com o *fixture*;
- Simular o cenário eliminando a etapa do processo de atualização da *BIOS*;
- Simular o cenário onde as conexões e desconexões dos cabos sejam realizadas em paralelo com o teste.

1.3 LIMITAÇÕES DO ESTUDO OU PESQUISA

Os resultados obtidos são específicos para a célula de testes do produto 'Warlock MLK' e podem não ser diretamente aplicáveis a outras células de testes ou outros produtos com diferentes características.

Além disso, a eliminação da etapa de atualização da *BIOS* pode ter implicações em termos de qualidade do produto ou conformidade com regulamentações, que não foram avaliadas no modelo.

1.4 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em 5 capítulos: introdução, revisão de literatura, materiais e métodos, análise dos resultados e controle estatístico, e resultados e discussão.

- **Capítulo 1:** Apresenta uma breve introdução ao tema, contextualizando-o e destacando a problemática, além de justificar a pesquisa e expor os objetivos gerais e específicos;
- **Capítulo 2:** A fundamentação teórica aborda os temas essenciais para o desenvolvimento deste trabalho, abrangendo os seguintes tópicos: simulação computacional, modelos de simulação, simulação de eventos discretos, modelagem de processos, *FlexSim*, e o uso da simulação na Indústria 4.0;
- **Capítulo 3:** Apresenta-se a sequência metodológica referente ao processo de coleta de dados, pesquisa e desenvolvimento, necessária para alcançar os objetivos propostos;
- **Capítulo 4:** Este capítulo é dedicado à análise dos resultados obtidos após a simulação dos diferentes cenários;
- **Capítulo 5:** Apresenta os principais resultados e uma análise comparativa entre os cenários simulados.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Este capítulo apresenta a fundamentação teórica que sustenta este trabalho, abordando tópicos relevantes à área de estudo. Serão exploradas as contribuições de diversos autores sobre simulação computacional, tipos de modelos de simulação, modelagem de processos, a relação entre Indústria 4.0 e simulação, além de aspectos relacionados aos testes funcionais.

2.1 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

A simulação é uma técnica empregada tanto no projeto e avaliação de novos sistemas quanto na reconfiguração física ou na modificação do controle e das regras de operação de sistemas existentes. Suas aplicações têm se expandido em diversas áreas, auxiliando gestores na tomada de decisões em problemas complexos e proporcionando um entendimento mais profundo dos processos organizacionais.

A simulação computacional é uma técnica amplamente utilizada para a modelagem e análise de sistemas complexos. Por meio da criação de modelos matemáticos que representam o comportamento de sistemas reais, a simulação permite a realização de experimentos controlados e a análise de diferentes cenários operacionais sem a necessidade de interferir diretamente no ambiente físico (Banks *et al.*, 2010). A evolução dessa técnica ao longo dos anos, impulsionada pelo avanço tecnológico, tem ampliado suas aplicações em diversos setores industriais.

Nesse contexto, segundo Slack, Chambers e Johnston (2002), a simulação é uma abordagem essencial para a tomada de decisões, pois permite explorar as consequências dessas decisões, ajudando as empresas a visualizarem diferentes aplicações e resultados. Isso otimiza a gestão de seus recursos e processos. Destaca-se que a simulação possui uma ampla variedade de aplicações em produção e operações, abrangendo desde a programação de linhas de montagem até o projeto de fábricas. Na simulação existem alguns tipos de modelos que auxiliam na representação do sistema a ser simulado.

2.1.1 Modelos de simulação

Um modelo é uma representação simplificada de um sistema, e um modelo de simulação consiste em um conjunto de equações lógico-matemáticas que descrevem as principais ações e inter-relações entre os componentes de um sistema. Nos

experimentos com modelos de simulação, busca-se obter aspectos relevantes do comportamento do sistema ao longo de um período de tempo (Law, 2007). Ainda segundo o autor, os modelos de simulação podem ser classificados em três dimensões:

2.1.1.1 Estáticos vs. Dinâmicos

- **Modelos estáticos:** Utilizados para representar sistemas onde o tempo não desempenha um papel significativo. Exemplos incluem modelos de Monte Carlo, que são usados para avaliar funções matemáticas, modelos financeiros ou na elaboração de cenários;
- **Modelos dinâmicos:** Representam sistemas que evoluem ao longo do tempo, como o sistema de uma fábrica.

2.1.1.2 Determinísticos vs. Estocásticos

- **Modelos determinísticos:** Não possuem componentes aleatórios. Exemplos incluem sistemas de equações diferenciais que descrevem uma reação química ou modelos de programação linear inteira-mista, onde os resultados também não apresentam variação aleatória;
- **Modelos estocásticos:** Incorporam elementos aleatórios, necessários para modelar a maioria dos sistemas de filas, entre outros, onde a variabilidade é inerente.

2.1.1.3 Contínuos vs. Discretos:

- **Modelos contínuos:** As variáveis mudam de forma gradual ao longo do tempo e são geralmente representadas por equações diferenciais. Exemplos incluem o crescimento de uma planta, o enchimento de um pneu de carro ou a variação do nível de um tanque de combustível;
- **Modelos discretos:** Evoluem à medida que os estados do sistema mudam de forma identificável, como a parada de trens em estações ou a montagem da base de uma cadeira. A simulação por eventos discretos, que é o foco deste estudo, é usada para modelar esses tipos de sistemas.

2.2 SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS (SED)

Na visão de Chwif e Medina (2014), a simulação de eventos discretos é empregada para modelar sistemas que alteram seu estado em momentos discretos no tempo, desencadeados pela ocorrência de eventos. Nesse tipo de simulação, como o próprio nome sugere, os eventos são o foco principal: o relógio de simulação marca o instante exato em que um evento ocorre. Esse estudo de modelos discretos de simulação em que as variáveis mudam de estado instantaneamente em momentos específicos no tempo. Em contraste, nos modelos contínuos, as variáveis podem mudar de estado continuamente ao longo do tempo.

A simulação de eventos discretos pode ser aplicada em uma ampla gama de áreas de estudo, desde manufatura e cadeia de suprimentos até cuidados de saúde. Além disso, ela pode ser combinada com diversas outras técnicas, dependendo da natureza e complexidade do estudo (Pereira; Miranda, 2018). Os autores destacam como vantagens da SED:

- Reproduzir, em um sistema computacional, o comportamento que um sistema real teria sob as mesmas condições;
- Compreender o funcionamento do sistema como um todo, não apenas de suas partes isoladas;
- Identificar gargalos produtivos e pontos de estrangulamento;
- Apoiar na definição de *layouts*, projetos de equipamentos e sistemas de transporte;
- Substituir a experimentação real, evitando custos e interrupções no fluxo produtivo;
- Avaliar interações entre variáveis e seus efeitos no sistema como um todo;
- Identificar estoques e materiais em excesso no sistema;
- Responder a perguntas do tipo "e se...", útil para propor novos sistemas.

2.3 MODELAGEM DOS PROCESSOS

Rivett (1980) observa que não existem modelos ideais para representar sistemas em estudos gerenciais, destacando que a representação de um sistema é, em grande parte, uma ciência subjetiva. Isso ocorre porque a compreensão do sistema e a identificação de seus elementos mais significativos, incluindo suas relações de interdependência, dependem do conhecimento, experiência e habilidade do modelador.

O mapeamento de processos também é uma ferramenta gerencial analítica e de comunicação, destinada a auxiliar na melhoria dos processos existentes ou na implementação de uma nova estrutura orientada por processos. Esse tipo de mapeamento é uma excelente ferramenta para compreender melhor os processos atuais, simplificar ou eliminar aqueles que precisam de ajustes, e melhorar os serviços. Ele permite que os envolvidos reflitam de forma sistemática e estruturada sobre as práticas cotidianas (Paines *et al.*, 2019).

A modelagem é uma técnica fundamental que pode complementar o mapeamento de processos. Modelar o processo faz sentido para identificar os componentes essenciais e críticos onde melhorias terão impacto, especialmente porque as mudanças tecnológicas permitem que o processo seja alterado em termos de espaço ou tempo. Isso capacita a organização a implementar mudanças de forma ágil, auxiliada por modelos simulados em computador e pela engenharia dos processos de negócio (Mareth; Alves; Borda, 2009).

Sob essa perspectiva, Randon e Cecconello (2019) destacam que os resultados da simulação são efetivos, a etapa de modelagem é crucial e requer um amplo conhecimento sobre o sistema em questão. Além de contribuir para a simulação em si, essa etapa proporciona aos envolvidos e gestores uma exploração significativa e compreensão dos processos envolvidos.

2.4 O FLEXSIM COMO FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS

A simulação computacional tornou-se uma ferramenta essencial para diversos setores, possibilitando a análise e otimização de sistemas complexos de forma eficiente e precisa. O *FlexSim* se destaca nesse cenário como uma plataforma robusta e amigável para modelagem de simulação, oferecendo recursos intuitivos e poderosos que facilitam a criação de modelos realistas e precisos (Autodesk, 2024).

O *FlexSim*, da empresa Autodesk (2024) se destaca por diversas características que o tornam uma ferramenta ideal para modelagem de simulação:

- Interface amigável: A interface intuitiva do *FlexSim*, com recursos de arrastar e soltar e menus suspensos, facilita a criação e o uso da plataforma, mesmo para usuários sem experiência em programação;
- Ambientes 3D realistas: Os modelos de simulação no *FlexSim* podem ser criados em ambientes 3D realistas, permitindo uma melhor visualização do sistema e facilitando a identificação de gargalos e ineficiências;

- Ampla biblioteca de recursos: O *FlexSim* oferece uma ampla biblioteca de recursos pré-programados, como entidades, processos e lógicas, que agilizam a criação de modelos e garantem a padronização dos projetos;
- Ferramentas de análise avançadas: O *FlexSim* oferece diversas ferramentas de análise avançadas, como gráficos, tabelas e relatórios, que facilitam a interpretação dos resultados da simulação.

2.5 SIMULAÇÃO NA INDÚSTRIA 4.0

Na Indústria 4.0, a simulação computacional busca expandir o uso das informações da planta, analisando dados em tempo real e integrando o mundo físico ao virtual. O resultado dessa captura de dados é o chamado "digital twin" (gêmeo digital), onde toda a cadeia de criação de um produto ganha um equivalente virtual. Isso permite que os operadores testem e aprimorem as configurações das máquinas no ambiente virtual antes de realizar qualquer alteração na produção real, gerando otimização de recursos, maior eficiência e economia (Abreu *et al.*, 2019).

Mesmo antes da quarta revolução industrial, a simulação já fazia parte das rotinas empresariais, sendo amplamente utilizada em análises de otimização, especialmente em modelos matemáticos e estatísticos. Com o avanço exponencial da computação, esses processos foram ampliados, levando ao desenvolvimento de softwares que incorporam diferentes tecnologias e áreas de conhecimento. Pesquisas recentes em otimização de simulação e o crescimento explosivo do poder computacional tornaram viável o uso de simulações para otimizar diretamente projetos e operações de sistemas (Randon; Cecconello, 2019).

Como descrevem Randon e Cecconello (2019), na indústria 4.0, todo o ciclo de vida dos produtos está integrado ao sistema de produção, onde participantes como consumidores e fornecedores podem interferir por meio da tecnologia da Internet. Nesse contexto, percebe-se que a simulação não apenas é uma ferramenta fundamental para desenvolver soluções 4.0, mas também apresenta um grande desafio a ser explorado. Isso ocorre à medida que cada vez mais fatores internos e externos, influenciando as decisões, são inseridos nos contextos industriais.

2.6 TESTES FUNCIONAIS

O teste funcional, também conhecido como teste de "caixa-preta", foca nos requisitos funcionais do *software*. Nesse tipo de teste, não se considera o

funcionamento interno do programa; o analista concentra-se nas funções que o *software* deve desempenhar. Com base nas especificações, são determinadas as saídas esperadas para um conjunto específico de dados (Silva; Alves; Bruno, 2011).

O método de teste funcional tem como objetivo verificar se uma placa está operando corretamente. Embora uma placa de circuito impresso montada possa passar por inspeções e testes estruturais, ainda pode apresentar falhas durante o teste funcional (Oliveira, 2012). O autor ainda afirma que para realizar o teste funcional de uma placa, vários métodos podem ser utilizados, como:

- *Jig* Aparelho: a placa em teste é inserida no aparelho final;
- *Racks* empilhados: o cliente utiliza equipamentos para gerar sinais de estímulo e medir as respostas;
- PXI/VXI: padrões de teste que também utilizam *racks* empilhados;
- Teste embutido: os testes são integrados ao próprio produto;
- Emulação com CPU.

3 O MÉTODO DE PESQUISA

O método de pesquisa selecionado para o desenvolvimento deste trabalho foi a modelagem e simulação, pois buscou-se modelar e simular computacionalmente o processo atual de uma célula de testes funcionais das placas do produto “*Warlock MLK*”. Nesse método, conforme destacado por Miguel *et al.* (2021), é necessário realizar a formulação (modelagem) do processo para descrever comportamento do sistema ou problema real, para então implementar o modelo de simulação.

Para atender aos objetivos da pesquisa, foi desenvolvido um estudo que envolveu a coleta de dados “*in loco*” e a modelagem e simulação em ambiente virtual, com o *software* FlexSim, visando a otimização do processo de testes em placas eletrônicas. Foram identificados os tempos de execução, avaliando a adequação da quantidade de *fixtures* no posto de trabalho e analisando a utilização do operador em conjunto com o *fixture*.

Para o cenário real, foi simulado um turno de 7 horas utilizando dados extraídos dos registros armazenados nos sistemas (*logs*) e da cronoanálise realizada através dos vídeos registrados durante as visitas.

A fim de avaliar os impactos de possíveis mudanças nos processos da fábrica, foram simulados três cenários. Esses cenários foram:

- Cenário 1: Redução de *fixtures*, verificando utilização do operador em conjunto com o *fixture*;
- Cenário 2: Eliminando a etapa do processo de atualização da *BIOS*;
- Cenário 3: As conexões e desconexões dos cabos feitas em paralelo com o teste.

A pesquisa foi realizada no ano de 2023, em uma empresa do Polo Industrial de Manaus, que atua no ramo de componentes eletrônicos e na fabricação de *notebooks* e dispositivos inteligentes. A empresa tem como fundamentos a pesquisa e o desenvolvimento, além da qualidade e inovação em seus produtos, investindo na melhoria contínua de seus processos, empregando conceitos da indústria 4.0.

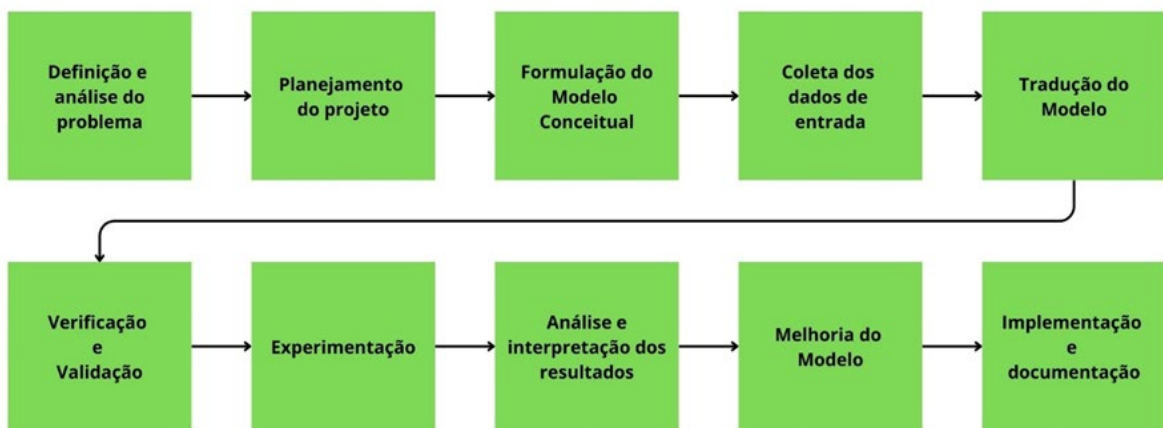
3.1 CRIAÇÃO DO CENÁRIO ATUAL

Na definição de Banks *et al.* (1984) a simulação computacional refere-se à reprodução do funcionamento de processos ou sistemas reais ao longo de um determinado intervalo de tempo. Com base nisso, foi simulada a operação atual de

uma célula de testes funcionais das placas do produto "Warlock MLK" durante um turno de trabalho de 7 horas.

Para a realização deste estudo, utilizou-se o procedimento descrito por Banks *et al.* (1984), pois é amplamente empregado em estudos de simulação por sua abordagem estruturada, que permite representar e analisar de forma eficiente processos ou sistemas complexos. Conforme mostrado na Figura 1.

Figura 1 - Procedimento aplicado em um estudo de simulação



Fonte: Autor (2024), adaptado de Banks *et al.* (1984).

Neste estudo, seguindo as orientações dos autores citados, foram desenvolvidas as 10 etapas, descritas a seguir:

Etapa 1 - Definição e análise do problema:

Foram realizadas três reuniões com a empresa para entender o funcionamento do processo. O problema identificado foi a demora no processo de testes funcionais e determinar a quantidade ideal de *fixtures* na célula, considerando a utilização eficiente do operador.

Etapa 2 - Planejamento do projeto:

Nessa etapa, foi definida a quantidade de visitas realizadas em outubro de 2023: foram feitas quatro visitas técnicas à fábrica com o objetivo de compreender o processo relacionado à célula de testes funcionais.

Etapa 3 - Formulação do Modelo Conceitual:

Esse modelo foi desenvolvido a partir do mapeamento dos processos de testes funcionais realizados nas placas, o que proporcionou um entendimento detalhado do sistema a ser simulado e contou com a aprovação da empresa para garantir que o desenvolvimento do modelo computacional e a coleta de dados pudessem ser iniciados.

Etapa 4 - Coleta de dados de entrada:

Nessa etapa, foram levantados os dados que estavam disponíveis, tanto quantitativos (números) quanto qualitativos (comportamento), e determinou-se quais seriam necessários para a construção do modelo. Os dados quantitativos incluíam os *logs* com os tempos dos testes automáticos, porém sem registros dos testes manuais. Já os dados qualitativos envolviam a maneira como o operador realizava os testes manuais, destacando-se que não havia um padrão na execução desses testes.

Etapa 5 - Tradução do Modelo

Referiu-se ao processo de transformar o modelo conceitual do cenário atual, que era um conjunto de ideias e descrições abstratas do sistema, em um modelo computacional.

Etapa 6 - Verificação e validação:

O modelo conceitual do cenário atual foi validado pela empresa. A equipe de simulação foi encarregada de desenvolver e validar o modelo computacional.

Etapa 7 - Experimentação:

Foram definidos três cenários a serem simulados:

- Cenário 1: simular o cenário com redução de *fixtures*, verificando utilização do operador em conjunto com o *fixture*;
- Cenário 2: simular o cenário eliminando a etapa do processo de atualização da *BIOS*;
- Cenário 3: simular o cenário onde as conexões e desconexões dos cabos sejam realizadas em paralelo com o teste.

Etapa 8 - Análise e interpretação dos resultados:

Nessa etapa, foram analisados os dados de saída de cada cenário proposto, comparando-os com os dados do cenário atual. Os dados de saída foram: produção total de placas, a utilização do operador e o UPH (unidades produzidas por hora).

Etapa 9 - Melhoria do modelo:

A melhoria do modelo foi o processo de revisar e aprimorar o modelo computacional com base nos resultados das simulações e na validação da empresa.

Etapa 10 - Implementação e documentação:

Nessa etapa, a documentação foi preparada por meio de um relatório detalhando as etapas do estudo. Esse documento foi desenvolvido para auxiliar na compreensão do trabalho realizado, conferir credibilidade aos resultados do processo e facilitar futuras modificações.

3.2 OBTENÇÃO E TRATAMENTO DOS DADOS

3.2.1 Obtenção de tempos dos testes

Durante o mês de outubro de 2023 foram realizadas 4 visitas técnicas à fábrica com o intuito de compreender o processo envolvendo a célula de testes funcionais. Foram coletados os tempos dos testes manuais e automáticos da célula através das filmagens do celular e *tablet*, além da medição do posto de trabalho e do *fixture*, com a finalidade de elaborar protótipos 3D que foram utilizados no modelo computacional.

Durante a visita, também foi identificado que o produto *Warlock* possuía famílias (*Metal*, *MLK*, *Plastic* entre outras), e constatou-se a existência de registros dos testes no sistema, incluindo a duração de cada teste, denominados como *logs*. Fez-se a tabulação dos *logs*, que se referia a um registro ou um histórico de eventos ou atividades associados a uma placa.

Neste contexto, os registros estavam relacionados aos testes realizados nas placas. Esses registros eram armazenados no sistema em formato de arquivo de texto (*.txt*), sendo necessário posteriormente convertê-los para o formato *Excel* para facilitar a manipulação dos dados, com o intuito de distinguir os testes manuais e automáticos para o modelo conceitual e coleta dos tempos (cronoanálise).

No entanto, foi preciso separar cada teste em abas individuais do *Excel* e analisá-los de forma isolada. Além disso, observou-se que alguns testes não estavam registrados nos *logs*, especialmente os testes iniciais, como a atualização da *BIOS*, como observa-se na figura 2. Para contornar essa questão, foi necessário extrair os tempos diretamente dos vídeos. No entanto, a tabulação desses vídeos apresentou desafios, devido aos curtos intervalos de tempo das atividades, que eram medidos em segundos, tornando o processo de tabulação mais complexo e demorado conforme ilustrado na figura 3.

Figura 2 - Logs convertidos para formato Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	NO.	Process	Item N	Item Name	Start Time	End Time	Use Time(r	Test Resul	t	Use Time (s)
2										
3	* 0	4	1	CHKCPU	06:39:00.698	06:39:01.726	1028	PASS	*	1.028
4	* 1	1	1	AutoMIC	06:39:00.698	06:39:04.411	3713	PASS	*	3.713
5	* 2	4	2	MEMAN	06:39:01.731	06:39:05.791	4060	PASS	*	4.06
6	* 3	3	1	CHKPCIBus	06:39:00.680	06:39:06.004	5324	PASS	*	5.324
7	* 4	4	3	MEINFO	06:39:05.793	06:39:06.953	1160	PASS	*	1.16
8	* 5	3	2	LanSpeed1000	06:39:06.004	06:39:07.741	1737	PASS	*	1.737
9	* 6	3	3	Wireless ID	06:39:07.745	06:39:08.510	765	PASS	*	0.765
10	* 7	4	4	CHKBIOS	06:39:06.953	06:39:08.723	1770	PASS	*	1.77
11	* 8	3	4	Bluetooth ID	06:39:08.524	06:39:09.233	709	PASS	*	0.709
12	* 9	4	5	BIOSMODE	06:39:08.726	06:39:09.991	1265	PASS	*	1.265
13	* 10	4	6	CHKTAG	06:39:09.995	06:39:11.348	1353	PASS	*	1.353
14	* 11	4	7	BIOSPair	06:39:11.351	06:39:11.651	300	PASS	*	0.3
15	* 12	3	5	TPM	06:39:09.236	06:39:12.912	3676	PASS	*	3.676
16	* 13	2	1	Charge	06:39:00.680	06:39:12.924	12244	PASS	*	12.244
17	* 14	3	6	CHKRAM	06:39:12.921	06:39:13.486	565	PASS	*	0.565
18	* 15	1	2	Brightness Test	06:39:04.411	06:39:14.971	10560	PASS	*	10.56
19	* 16	3	7	CHKHDD	06:39:13.498	06:39:15.725	2227	PASS	*	2.227
20	* 17	2	2	AC_Adapter	06:39:12.930	06:39:16.782	3852	PASS	*	3.852
21	* 18	1	3	Camera Test	06:39:14.975	06:39:19.667	4692	PASS	*	4.692

Fonte: Autor, 2023.

Figura 3 - Tabulação dos vídeos

	Início			Fim					
1	min	seg	soma	min	seg	soma	Duração (seg)	Atividade	Nome do vídeo
2									
3	0	0	0	0	25	25	25	Desconectar toolings e remover placa do fixture	Visita_30_10_23_part3
4	0	25	25	0	33	33	8	Embalar placa no saco ESD	Visita_30_10_23_part3
5	0	33	33	0	37	37	4	Guardar placa na caixa poliondas	Visita_30_10_23_part3
6	0	39	39	0	41	41	2	Desligar sistema Operacional	Visita_30_10_23_part3
7	0	41	41	0	46	46	5	Desligar DUT	Visita_30_10_23_part3
8	0	46	46	1	12	72	26	Desconectar toolings e remover placa do fixture	Visita_30_10_23_part3
9	1	12	72	1	17	77	5	Embalar placa no saco ESD	Visita_30_10_23_part3
10	1	17	77	1	20	80	5	Guardar placa na caixa poliondas	Visita_30_10_23_part3
11	0	42	42	0	43	43	1	Desligar sistema Operacional	Visita_30_10_23_part3
12	0	43	43	0	48	48	5	Desligar DUT	Visita_30_10_23_part3
13	1	23	83	1	46	106	25	Desconectar toolings e remover placa do fixture	Visita_30_10_23_part3
14	1	47	107	1	55	115	8	Embalar placa no saco ESD	Visita_30_10_23_part3
15	1	55	115	1	58	118	3	Guardar placa na caixa poliondas	Visita_30_10_23_part3
16	2	0	120	2	2	122	2	Desligar sistema Operacional	Visita_30_10_23_part3
17	2	2	122	2	6	126	4	Desligar DUT	Visita_30_10_23_part3
18	2	6	126	2	30	150	24	Desconectar toolings e remover placa do fixture	Visita_30_10_23_part3
19	2	30	150	2	35	155	5	Embalar placa no saco ESD	Visita_30_10_23_part3
20	2	35	155	2	39	159	4	Guardar placa na caixa poliondas	Visita_30_10_23_part3
21	2	39	159	2	43	163	4	Adquirir placa no buffer	Visita_30_10_23_part3

Fonte: Autor, 2023.

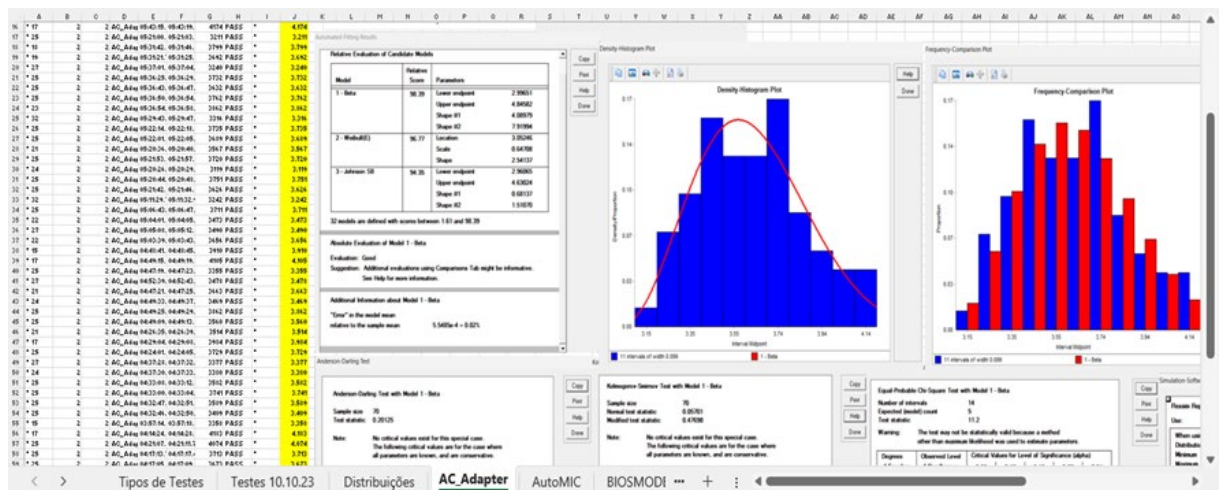
3.2.2 Cronoanálise

Em relação aos tempos de duração das atividades, fez-se um estudo de tempos e métodos (cronoanálise) com base nos tempos registrados nos logs, sendo possível identificar os testes realizados manualmente e automaticamente ou semi-automático, bem como a sequência em que foram realizados. O estudo de tempos e métodos (cronoanálise) foi realizado após a tabulação dos logs.

Conforme Peinado e Graeml (2007), a cronoanálise é uma técnica utilizada para medir o trabalho por meio de ferramentas estatísticas. Ela permite o cálculo do tempo padrão, que, por sua vez, possibilita determinar a capacidade produtiva dos processos de uma empresa, além de servir para o desenvolvimento de programas de produção e diversas outras aplicações.

Então, dividiram-se os testes em abas separadas no Excel, com seus respectivos tempos em milésimos de segundos convertidos em segundos, com o objetivo de determinar a distribuição mais adequada para a simulação. Para esse fim, utilizou-se o software de análise estatística do FlexSim®, o ExpertFit®, cuja função era encontrar a distribuição de probabilidade que melhor se ajustava ao conjunto de dados, conforme visto na figura 4.

Figura 4 - Resultado das distribuições do ExpertFit



Fonte: Autor, 2023.

Os testes manuais e as atividades do operador foram divididos em micro-atividades. Os tempos correspondentes a essas micro-atividades foram obtidos a partir dos vídeos, mas houve uma insuficiência de dados em algumas dessas

atividades. No caso, foram: leitura da placa no *SFC (FT_IN)*, inicializar *Windows*, aguardando operador iniciar teste *touchpad*, executar testes de *LEDs*, pressionar botão *power* da placa auxiliar, executar teste *power*, conectar *SD Card*, desconectar cartão *SD*, desconectar cabo 3.0, desconectar combo da placa auxiliar e aguardando operador executar testes de *LEDs*. Para resolver essa questão, optou-se por utilizar a média nos tempos ausentes. Conforme mostrado na figura 5.

3.2.3 Modelo conceitual: cenário atual

A construção do modelo conceitual foi fundamental para a análise e investigação das possíveis causas que geraram o problema a ser resolvido pela simulação. Para isso, foram considerados os vídeos e os tempos coletados durante as visitas. A empresa solicitou que o modelo fosse altamente detalhado, assim como o modelo computacional.

A empresa também solicitou a separação entre os testes automáticos e manuais, o que resultou em algumas alterações no modelo devido à dificuldade inicial de distinguir entre os testes automatizados e manuais. Além disso, durante o processo de construção, identificou-se a possibilidade de alguns testes serem realizados em paralelo, o que complicou a lógica do modelo. É importante destacar que cada operador tinha a liberdade de executar os testes da maneira que preferisse, já que não havia um padrão definido.

Figura 5 - Distribuições dos logs

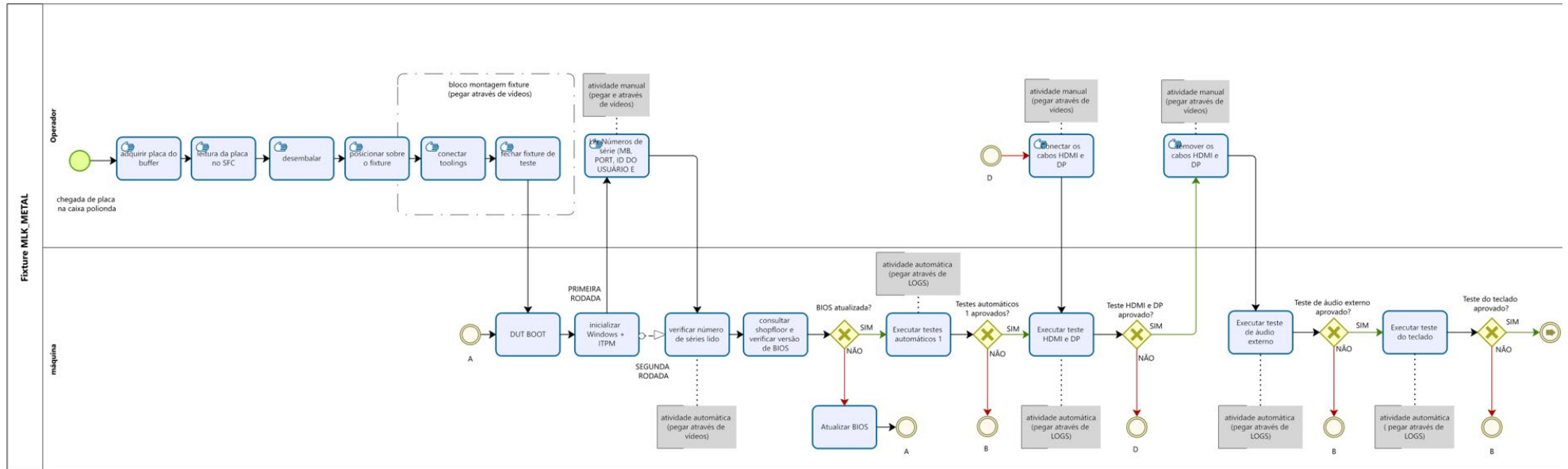
Tipo de Testes	Distribuições	Média Tempo (s)	
Testes automáticos	CHKCPU	pearsonT5(0.698809, 4.102815, 10.075111)	1.150
	CHKPCIBus	beta(4.342494, 5.480967, 1.770865, 1.282093)	5.004
	MEMAN	johnsonbounded(3.142838, 4.780950, -0.169975, 0.430289)	4.014
	MEINFO	loglogistic(0.000000, 1.230128, 47.138327)	1.232
	LanSpeed1000	loglogistic(1.226813, 0.495521, 20.888021)	1.723
	Wireless ID	johnsonbounded(0.674406, 0.842434, 0.609982, 1.609527)	0.744
	Bluetooth ID	johnsonbounded(0.668289, 0.821390, 0.361364, 1.368413)	0.736
	CHKBIOS	weibull(0.956891, 1.464135, 2.818579)	2.264
	BIOSMODE	johnsonbounded(0.586771, 1.765433, -1.090455, 2.147569)	1.316
	CHKTAG	johnsonbounded(1.133899, 2.011146, 0.059989, 0.673386)	1.558
	BIOSPair	loglogistic(0.202038, 0.091895, 4.763515)	0.301
	TPM	weibull(3.483957, 0.237998, 3.965172)	3.700
	CHKRAM	weibull(0.408678, 0.152073, 3.948796)	0.546
	CHKHDD	loglaplace(1.539325, 0.476675, 2.281934)	2.135
	Brightness Test	loglaplace(9.775741, 0.734739, 3.318833)	10.674
	Camera Test	pearsonT5(0.859299, 100.405727, 22.222392)	5.596
	KB_Backlight	loglaplace(0.000000, 4.736997, 41.058081)	4.751
	CHKThermal	pearsonT5(39.758652, 102.367816, 17.323441)	46.020
Testes semi-automáticos	Charge	johnsonbounded(10.653419, 19.068241, 0.725713, 0.640563)	13.287
	AC_Adapter	beta(2.996512, 4.845817, 4.089789, 7.919937)	3.627
	Teste de áudio externo	loglaplace(3.416355, 0.427121, 2.613229)	3.911
	SD Card	johnsonbounded(0.747695, 3.922918, 1.916432, 1.356245)	1.443
	USB2_0_1	johnsonbounded(4.075426, 5.989761, 0.149582, 1.210980)	4.978
	USB3_0_1	loglaplace(4.343800, 0.634200, 8.870006)	5.001
	Keyboard	johnsonbounded(11.103595, 16.651359, 1.456737, 0.837766)	12.223
	CapsLED	inversegaussian(6.784247, 0.376607, 0.242074)	7.161
	HDMI	beta(16.784311, 22.749032, 0.700217, 0.689036)	19.827
	Lid Test	invertedweibull(3.128145, 1.819254, 2.972056)	5.479
	LED	johnsonbounded(10.182754, 29.332794, 1.681036, 0.859691)	13.501
	Power Button Test	beta(1.269363, 5.057029, 1.259837, 1.557032)	2.965
	Touchpad	johnsonbounded(2.238450, 4.851008, 0.698471, 0.507526)	3.020
	FingerPrint	loglaplace(4.943946, 0.362054, 3.233933)	5.346
	Combo	beta(6.355449, 7.640852, 1.652010, 1.607768)	7.007

Fonte: Autor, 2023.

O *software Bizagi* foi utilizado para a construção do modelo conceitual conforme apresentado na figura 6. Segundo Gomes (2022), o *Bizagi* é um sistema que utiliza a notação BPMN e proporciona a modelagem, simulação, automação e controle de processos de negócios por meio de três plataformas distintas e complementares: o *Bizagi Modeler*, onde ocorre a modelagem e simulação dos processos; o *Bizagi Studio*, que permite projetar a automação do processo; e o *Bizagi Automation*, responsável por executar a automação em ambientes de teste ou produção.

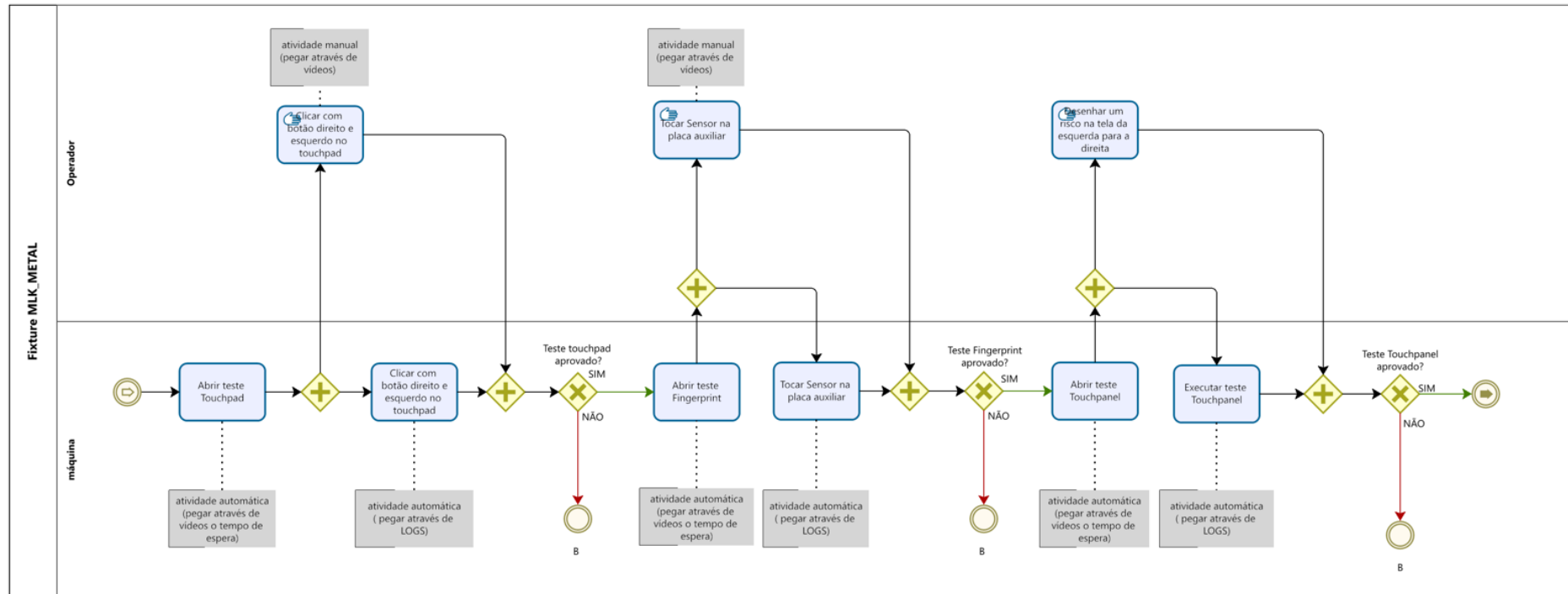
Foi possível identificar os seguintes *softwares* que foram frequentemente utilizados como ferramentas para mapeamento e gerenciamento de processos de negócios: *ARIS*, *Sydle*, *Intalio*, *Iyopro*, *Maestro*, *Modelio*, *Imixs-Workflow*, *ProcessMaker*, *Bizagi* e *Bonita* (Gomes, 2022).

Figura 6 - Modelo Conceitual_seqüência_1



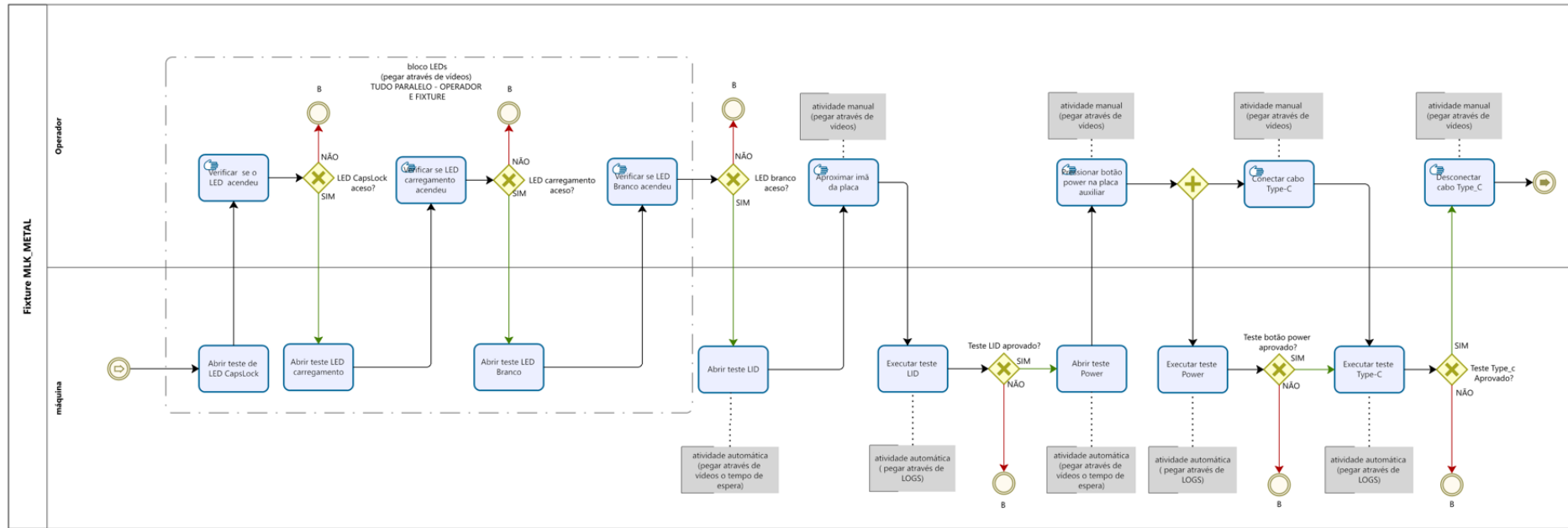
Fonte: Autor, 2023.

Figura 7 - Modelo Conceitual_sequência_2



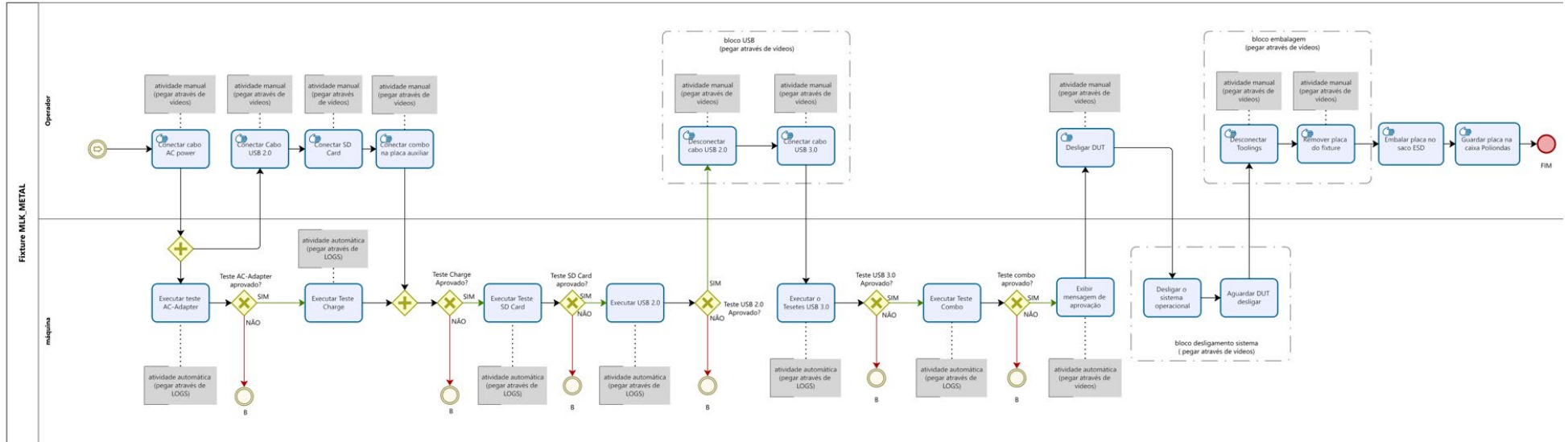
Fonte: Autor, 2023.

Figura 8 - Modelo Conceitual_sequência_3



Fonte: Autor, 2023.

Figura 9 - Modelo Conceitual_sequência_4



Fonte: Autor, 2023.

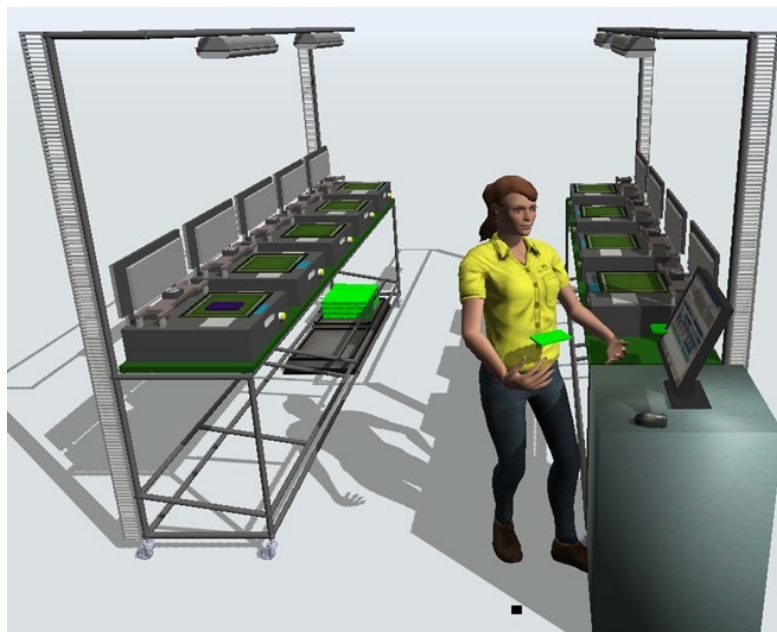
4 DESCRIÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo, será apresentada inicialmente a construção do modelo computacional do cenário atual, incluindo as ferramentas utilizadas. A partir desse modelo, serão desenvolvidos e discutidos os cenários alternativos com seus respectivos resultados.

4.1 MODELO COMPUTACIONAL - CENÁRIO ATUAL

Primeiramente, realizou-se a importação dos desenhos *CAD* das peças do *Autodesk Inventor®* na ferramenta Model 3D do software (*FlexSim*). Posteriormente, definiu-se a rota que o operador deveria seguir, bem como sua interação com os objetos ao longo do trajeto. Dessa forma, criou-se o modelo 3D do sistema, porém, foi necessário desenvolver lógicas mais complexas e customizáveis para que o modelo tivesse a mesma aparência e sensação do sistema de negócios que estava sendo simulado, conforme mostrado na figura 7. Assim, utilizou-se a ferramenta *Process Flow*, que, por meio de programação em blocos, permitiu que o modelo se tornasse mais intuitivo e realista.

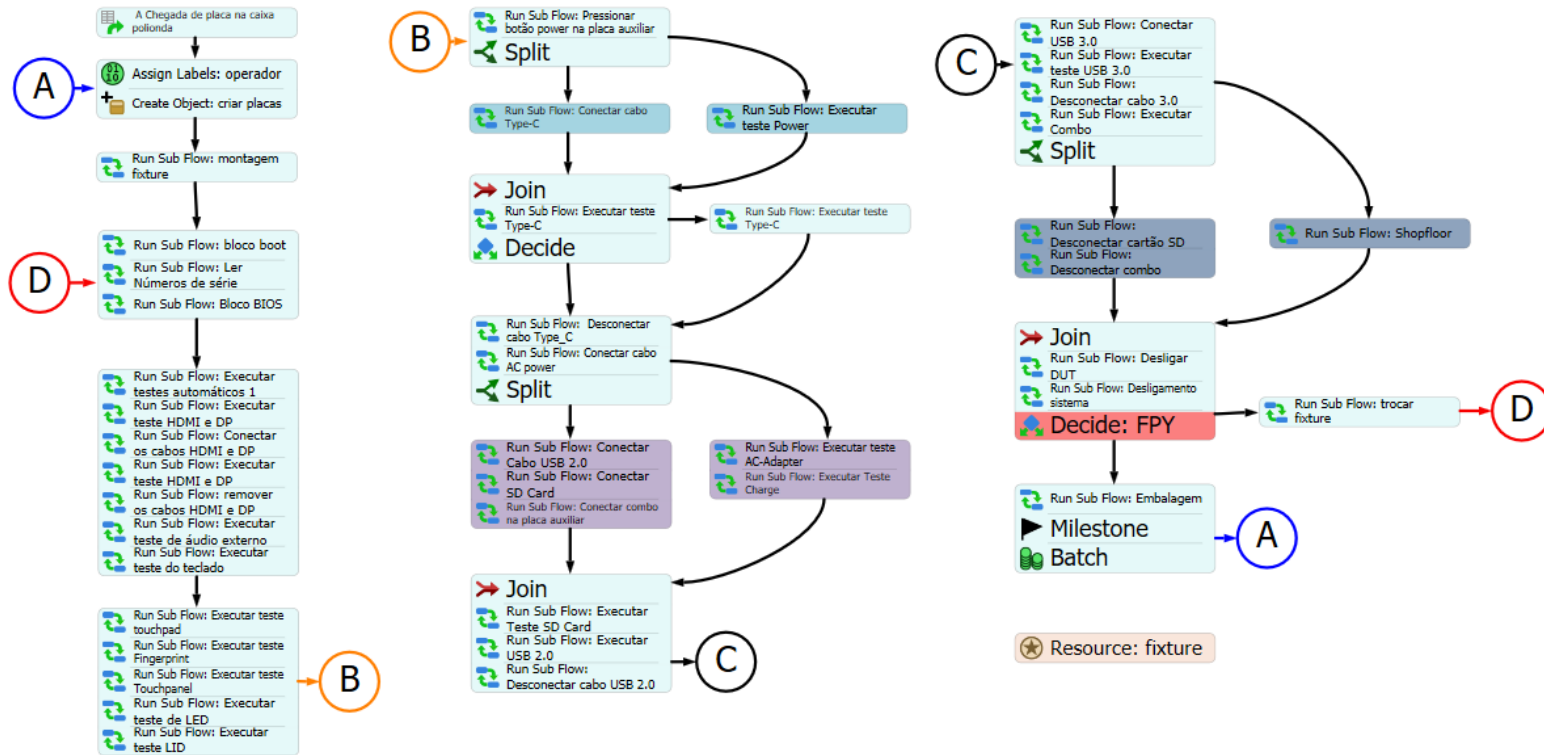
Figura 10 - Modelo 3D



Fonte: Autor, 2023.

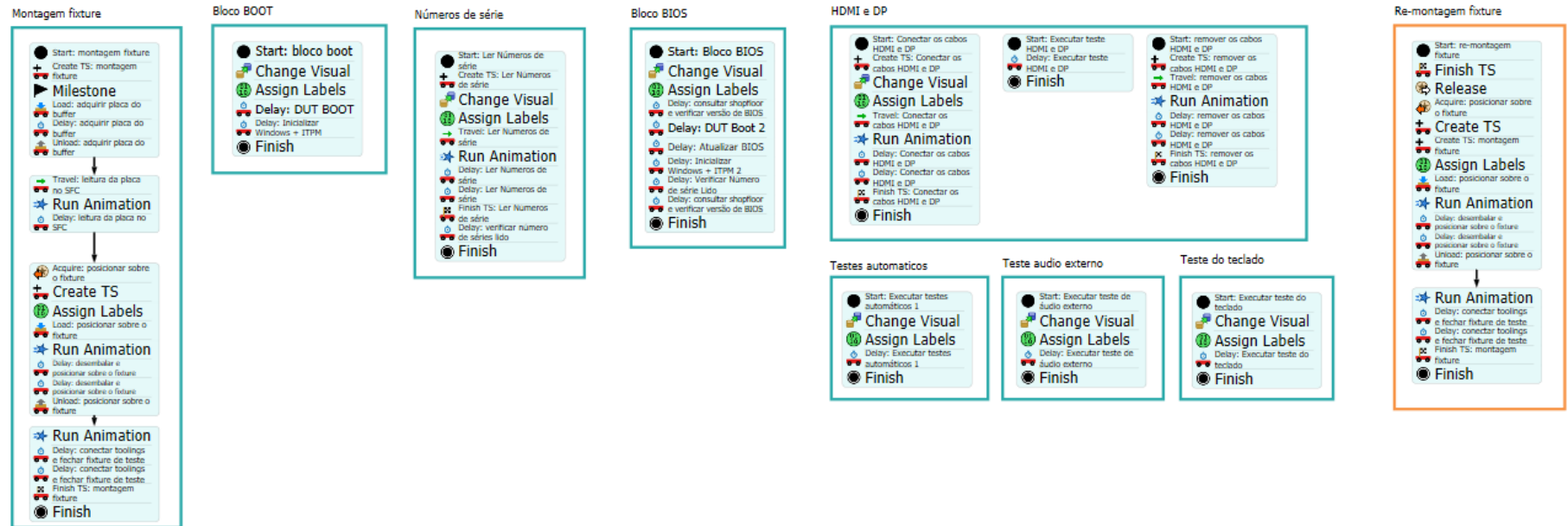
Na figura 11, apresentou-se a lógica elaborada no *Process Flow* das etapas simuladas do processo. Enfatizou-se que as atividades foram agrupadas e categorizadas em *containers* (segmentos) para melhor visualização e tratamento de dados.

Figura 11 - Fluxo do processo no *Process Flow*



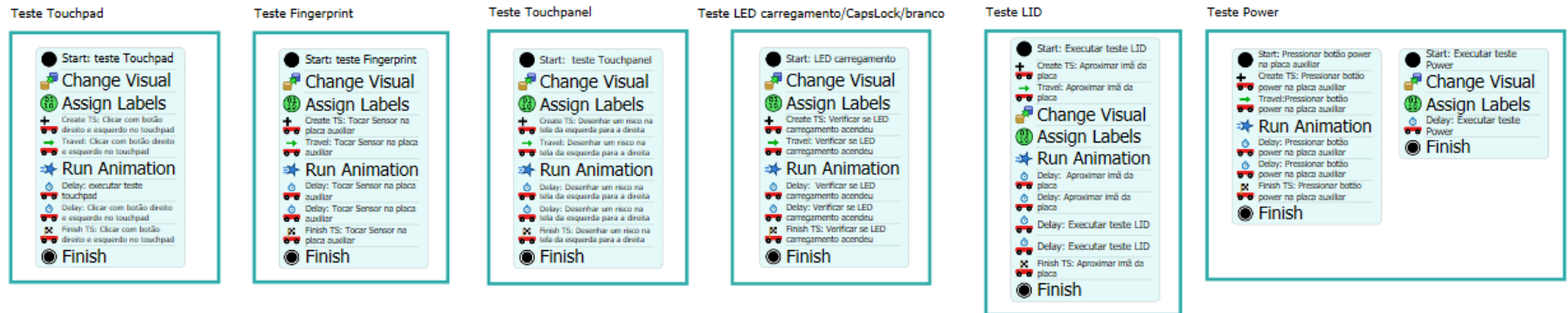
Fonte: Autor, 2023

Figura 12 - *Process Flow*_sequência_1



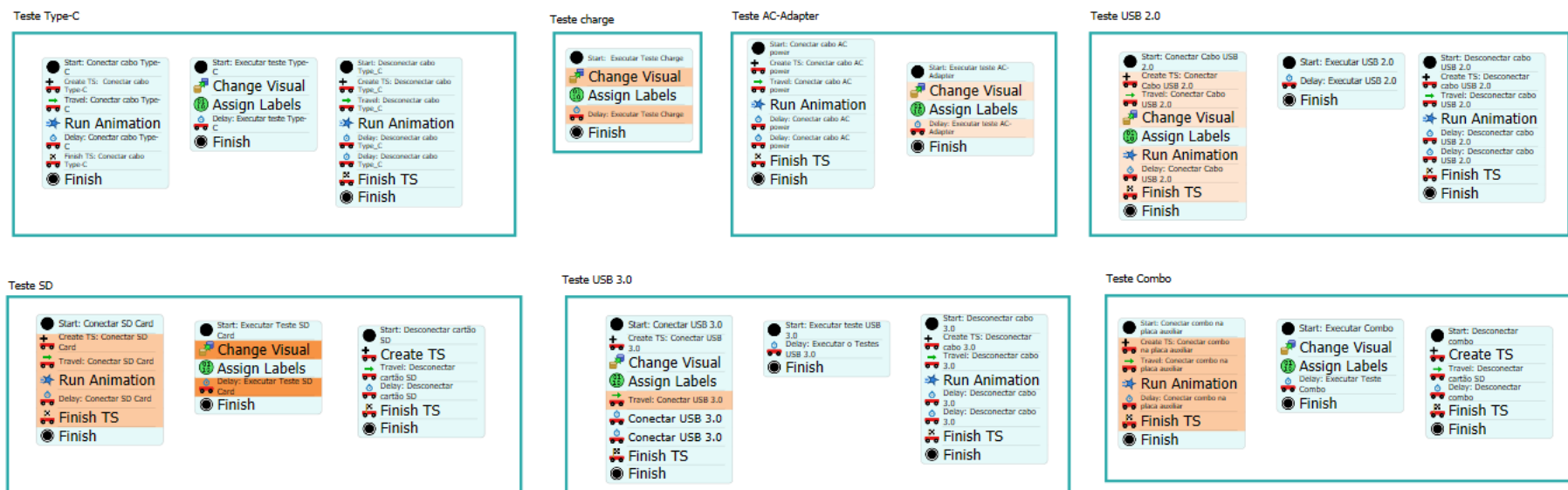
Fonte: Autor, 2023

Figura 13 - *Process Flow*_sequência_2



Fonte: Autor, 2023

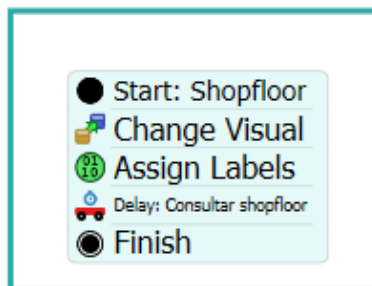
Figura 14 - Process Flow sequência_3



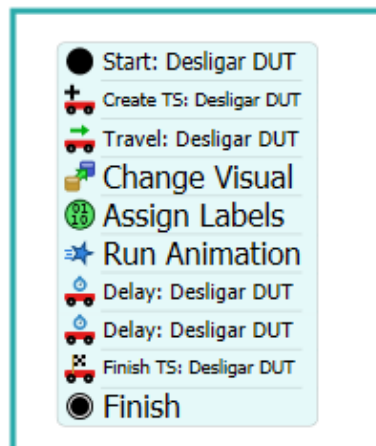
Fonte: Autor, 2023

Figura 15 - *Process Flow*_sequência_4

Shopfloor



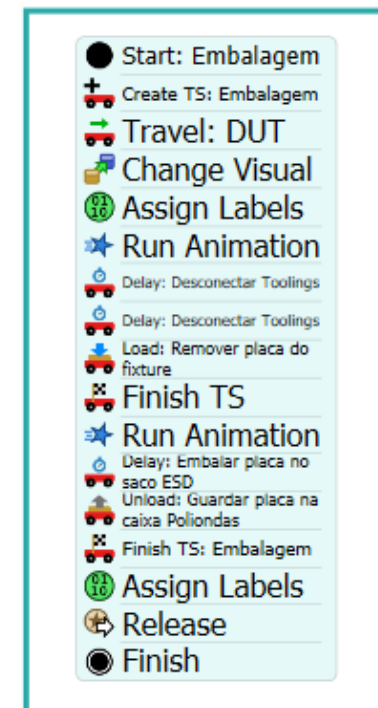
Desligar DUT



Desligamento sistema



Embalagem



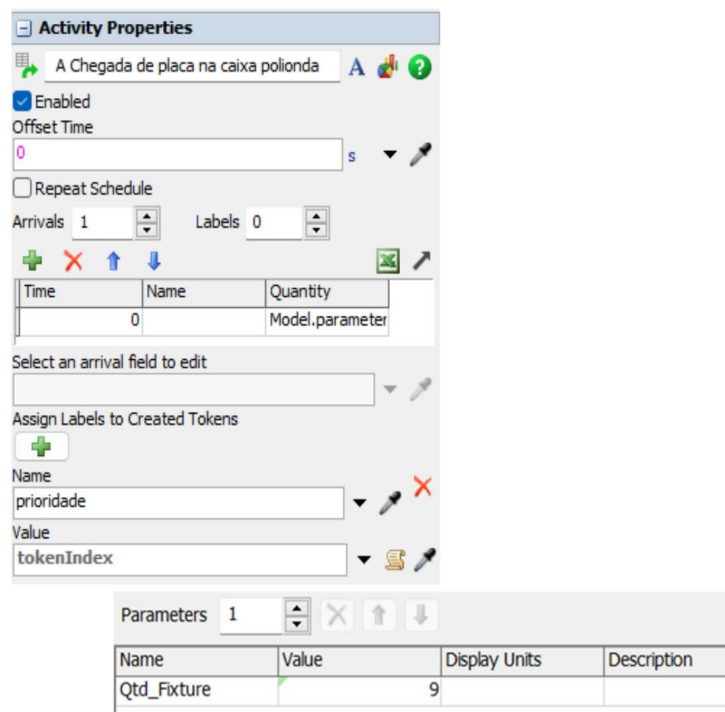
Fonte: Autor, 2023.

Para simbolizar a chegada das placas na célula, utilizou-se um *Schedule Source* com o objetivo de criar uma tabela de chegada de *tokens* (elementos) na simulação. Essa tabela definiu o tempo (em unidades modelo) para a criação dos *tokens*. Diante disso, estabeleceu-se o tempo 0 (zero) como o momento para a criação dos *tokens*, ou seja, assim que a simulação começava, os elementos eram gerados.

Em seguida, atribuiu-se o nome "prioridade" aos novos *tokens*, cujo valor representava o índice do *token* na ordem de criação. O rótulo atribuído permitia armazenar e rastrear informações importantes sobre o *token* ou alterar dinamicamente o que acontecia com ele durante a simulação.

Em sequência, realizou-se uma alteração na quantidade de placas que deveriam chegar à caixa polionda por meio da função "*Model.parameters.Qtd_Fixture*", conforme apresentado na figura 16. Essa função foi responsável por associar a quantidade de placas a serem criadas à quantidade de *fixtures* a serem utilizados no processo.

Figura 16 - *Schedule Source*: Placa

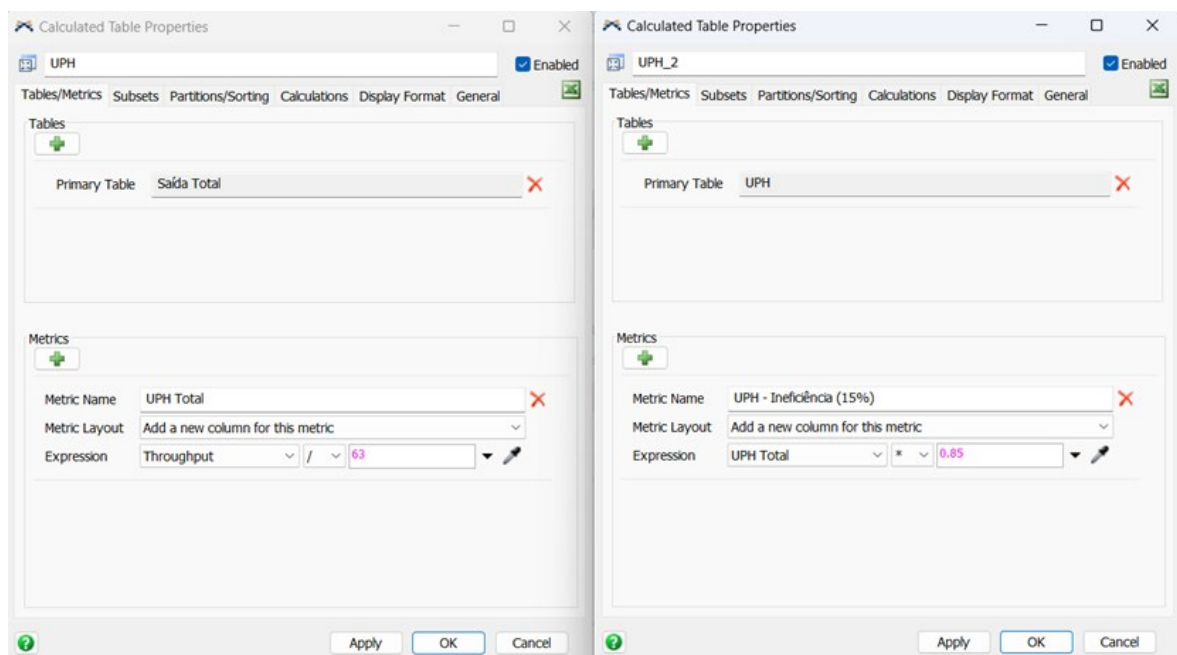


Fonte: Autor, 2023.

Utilizou-se a ferramenta *Milestone* para sinalizar o término do processo de testes e especificar que um marco (placa testada) havia sido atingido. No *FlexSim®*, um marco é qualquer evento que ocorra em uma simulação e que se tenha interesse em acompanhar para fins estatísticos. Posteriormente, utilizou-se a ferramenta *Milestone Collector* para criar e rastrear o marco no modelo de simulação, permitindo assim a obtenção do tempo médio de testes.

Por último, utilizou-se a ferramenta *Calculated Tables* para calcular a quantidade de unidades produzidas por hora (UPH). Dessa forma, foi possível analisar os dados tanto sem considerar a ineficiência de 15% no processo quanto levando essa ineficiência em consideração, conforme mostrado na figura 17. A partir disso, os dados puderam ser exportados em gráficos.

Figura 17 - *Schedule Source: Placa*



Fonte: Autor, 2023.

A ferramenta *Model Parameter Tables* foi utilizada para organizar os dados de entrada, assim como as distribuições geradas pelo *ExpertFit®*. Destaca-se que um parâmetro é um valor global que controla algum aspecto do comportamento do modelo. Dessa forma, essa ferramenta foi usada para demonstrar os tempos das atividades na simulação, conforme apresentado na figura 18.

Figura 18 - *Parameters* usados no modelo

Name	Value	Display Units	Description
Adquirir placa no buffer	inversegaussian(0.896429, 1.760237, 1.202938)		
Letura da placa no SFC	johnsonbounded(1.176557, 5.353325, 0.161799, 0.295714)		
Desenbalar placa e posicionar no fixture	loglaplace(1.895999, 3.034001, 2.445333)		
Conectar tooling e fechar fixture de teste	loglogistic(32.209225, 9.465227, 2.061011)		
DUT Boot	johnsonbounded(35.284340, 125.909476, 0.382908, 0.329897)		
Inicialzar Windows + ITPM	loglaplace(3.217103, 22.367852, 9.834819)		
Letura dos serials	loglaplace(0.000000, 3.660000, 4.408204)		
Consultar shopfloor / versão da Bios/	invertedweibull(130.739881, 18.103301, 4.873202)		
Atualzar boot / Bios	lognormal2(388.864466, 17.392304, 1.180736)		
DUT Boot 2	johnsonbounded(35.284340, 125.909476, 0.382908, 0.329897)		
Inicialzar Windows + ITPM 2	loglaplace(3.217103, 22.367852, 9.834819)		
Verificar Número de série Lido	beta(0.091974, 96.991939, 1.240424, 1.140303)		
Consultar shopfloor 1	johnsonbounded(97.747518, 123.315521, 1.184628, 0.701874)		
Executar testes automáticos	93.77		
Conectar os cabos HDMI e DP	johnsonbounded(1.070148, 5.336594, 1.025296, 0.506062)		
Executar teste HDMI e DP	beta(16.784311, 22.749032, 0.700217, 0.689036)		
Desconectar cabo HDMI	gamma(1.158442, 1.435707, 0.518410)		
Executar teste de áudio externo	loglaplace(3.416355, 0.427121, 2.613229)		
Executar teste do teclado	johnsonbounded(11.103595, 16.651359, 1.456737, 0.837766)		
Aguardando operador iniciar teste Touchpad	53		
Clicar com botão direito e esquerdo no touchpad	beta(1.386616, 5.358983, 0.639283, 3.416390)		
Tocar Sensor na placa auxiliar (FingerPrint)	gamma(0.166806, 2.000000, 3.142603)		
Desenhar um risco na tela da esquerda para a direita (Touchpanel)	lognormal2(0.734965, 0.861308, 0.512114)		
Executar Testes de LEDs	inversegaussian(15.337053, 8.520089, 4.383965)		
Aproximar imã da placa	beta(0.000652, 2.718842, 2.173495, 1.608366)		
Executar teste LID	johnsonbounded(2.599292, 32.477931, 0.974110, 0.382331)		
Pressionar botão power da placa auxiliar	2.33		
Executar teste Power	3		
Conectar cabo Type-C	beta(1.005605, 7.762939, 0.596401, 3.588661)		
Executar teste Type-C	loglaplace(0.000000, 34.000000, 6.121989)		
Desconectar teste Type-C	beta(1.036433, 1.797355, 0.601513, 0.911498)		
Conectar cabo AC power	lognormal2(0.979500, 0.352169, 1.526067)		
Executar teste AC-Adapter	beta(2.996512, 4.845817, 4.089789, 7.919937)		
Conectar cabo USB 2.0	loglogistic(1.028433, 0.570723, 2.587327)		
Conectar SD Card	2.80		

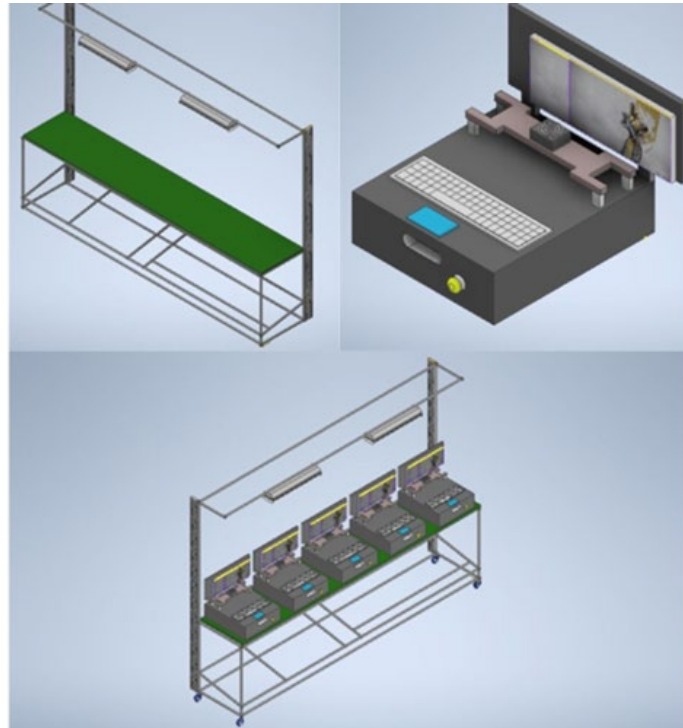
Fonte: Autor, 2023.

4.2 APLICAÇÃO DAS FERRAMENTAS

4.2.1 Inventor®

Foi realizada a modelagem 3D das bancadas e do *fixture*, uma vez que a empresa não dispunha dos modelos tridimensionais (3Ds) desses objetos. Durante uma das visitas à fábrica, as medidas reais dos objetos foram coletadas utilizando uma trena e posteriormente inseridas no *software Autodesk Inventor®*.

Decidiu-se empregar o *software Autodesk Inventor®*, uma ferramenta que possibilitou visualizar a criação de protótipos virtuais tridimensionais, devido à sua praticidade em relação a outros programas similares. Os protótipos virtuais que foram criados podem ser observados na figura 19.

Figura 19 - Bancada com os *fixtures*

Fonte: Autor, 2023.

4.2.2 Flexsim®

Conforme Borba (2024), existem diversos *softwares* de simulação de modelos discretos e de filas. Alguns desses se destacam por oferecerem uma interface gráfica intuitiva, que facilita o desenvolvimento e a compreensão da modelagem por meio da conexão de objetos disponíveis no programa. Além disso, oferecem animações em 2D e 3D, que auxiliam na visualização e interpretação lógica do sistema. Exemplos desses *softwares* incluem o *AnyLogic* da *AnyLogic Company*, o *Arena* da *Rockwell Automation*, o *FlexSim* da *FlexSim Software Products* e o *ProModel* da *ProModel Corporation*.

O *software* selecionado para este estudo, segundo Amaral (2018), foi o *FlexSim*, devido ao seu robusto ambiente 3D, que representou um avanço em comparação à maioria dos concorrentes que ainda utilizavam tecnologia 2D. A ferramenta também se destacou por sua interface eficaz, de fácil manuseio e amigável para usuários de todos os níveis. Além disso, ofereceu uma variedade de recursos,

resultado de sua flexibilidade em modificar objetos e seus comportamentos, visando atender às diversas exigências de modelagem dos usuários.

No tratamento dos dados foi empregado o *software Expertfit* que compõe o simulador *FlexSim*, o *software* automaticamente e com precisão determina qual distribuição de probabilidade melhor representa o conjunto de dados, e possui 40 distribuições, 30 representações gráficas de alta qualidade, 4 testes de ajuste, para tamanhos de amostra de até 100.000, histogramas interativos e um visualizador de distribuição (Figueiredo, 2017).

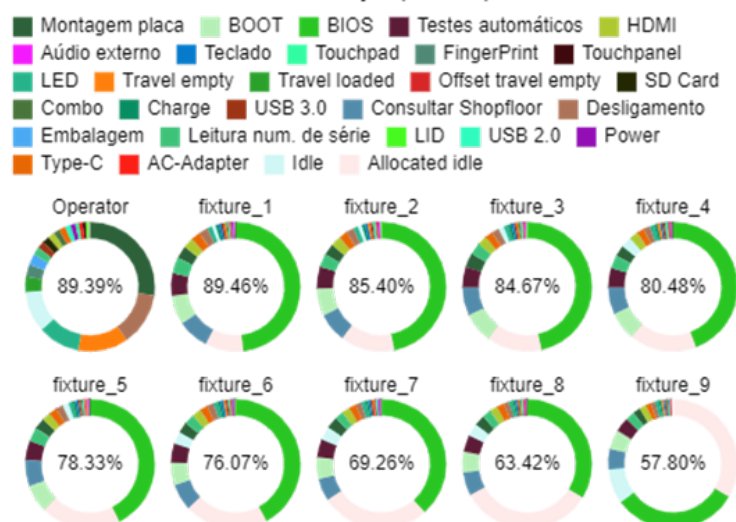
4.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.3.1 Cenário Atual

Com o objetivo de representar o estado atual do processo produtivo em uma célula de testes funcionais, foi simulado um turno de 7 horas, das 6h às 13h, com uma pausa de 1 hora para o almoço. Como resultado, foram gerados vários gráficos no próprio *FlexSim*.

A figura 20 mostrou que o operador esteve ocupado em 89,39% do tempo com suas atividades. Além disso, observou-se que a ociosidade dos *fixtures* foi mais acentuada nos últimos, já que o operador priorizava os primeiros *fixtures*.

Figura 20 - *Status* de utilização por componente



Fonte: Autor, 2023.

É importante ressaltar que a fábrica informou que opera com uma taxa de produção por hora (UPH) de 1,40, a qual representa a quantidade de unidades produzidas em uma hora. No cálculo, são consideradas as horas de um turno, que, neste caso, totalizam 7 horas, além do número de *fixtures* em um posto e, por fim, a quantidade de placas produzidas ao final do turno. Também forneceu a porcentagem de ineficiência do processo, que é de 15%. Com base nessas informações, ao analisarmos a figura 24, pudemos observar que o UPH de 1,44, após a aplicação da ineficiência gerada pela simulação, se aproximou do valor real, validando, assim, o modelo.

Figura 24 - UPH e Ineficiência do processo

UPH Total	UPH - Ineficiência (15%)
1.70	1.44

Fonte: Autor, 2023.

4.3.2 Cenário 1: redução de fixtures

Como estratégia para agilizar o processo de experimentação, utilizou-se como base o modelo computacional desenvolvido para o cenário atual. A partir dele, foi feita uma cópia do modelo, que foi modificado conforme a demanda. Dessa forma, avaliou-se o impacto da redução do número de *fixtures* no processo por meio de alterações no parâmetro "Qtd_Fixture", como mostrado na figura 25.

Figura 25 - Redução de *fixture*

Name	Value	Display Units	Description
Qtd_Fixture	8		

Fonte: Autor, 2023.

No primeiro cenário, decidiu-se reduzir a quantidade de *fixtures* em um posto, com a hipótese de que essa redução manteria a taxa de produção, estimada em 107 placas. No entanto, ao analisarmos o gráfico da figura 26, que representava a produção total, verificou-se uma diminuição de 6,5% na taxa de produção. Dessa

forma, concluiu-se que a redução do número de *fixtures* não era viável, pois resultaria em queda na produção e exigiria um aumento no número de operadores.

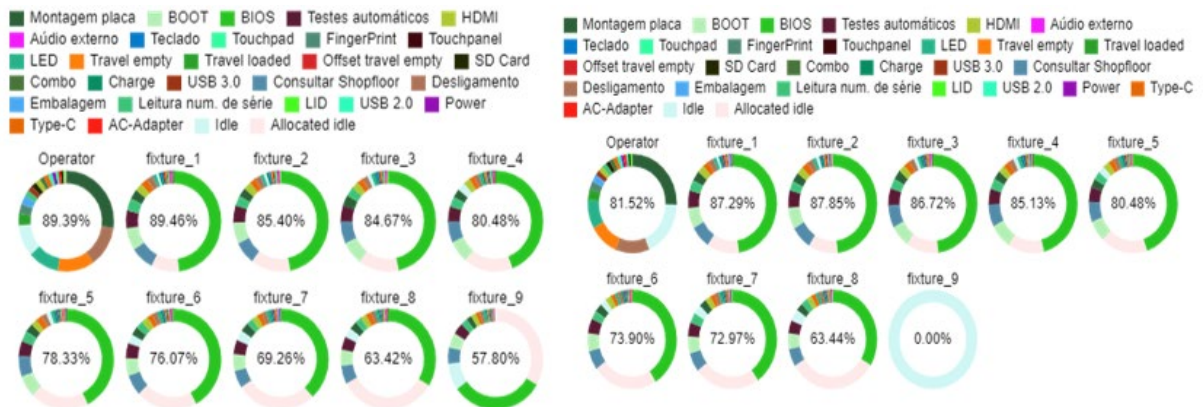
Figura 26 - Saída total do cenário atual vs cenário 1



Fonte: Autor, 2023.

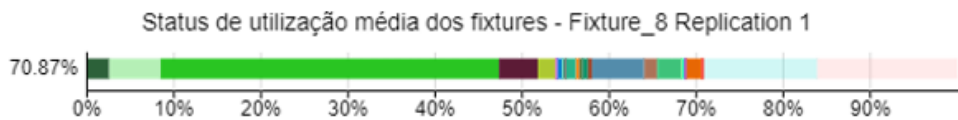
No entanto, ao analisarmos o gráfico da figura 27, observamos uma redução de quase 8% na ocupação do operador. Já na figura 28, que mostrava a utilização dos *fixtures*, a atualização da *BIOS* ainda representava a maior parte da utilização do *fixture*.

Figura 27 - Status de utilização por componente cenário atual vs cenário 1



Fonte: Autor, 2023.

Figura 28 - Status de utilização média dos fixtures cenário 1



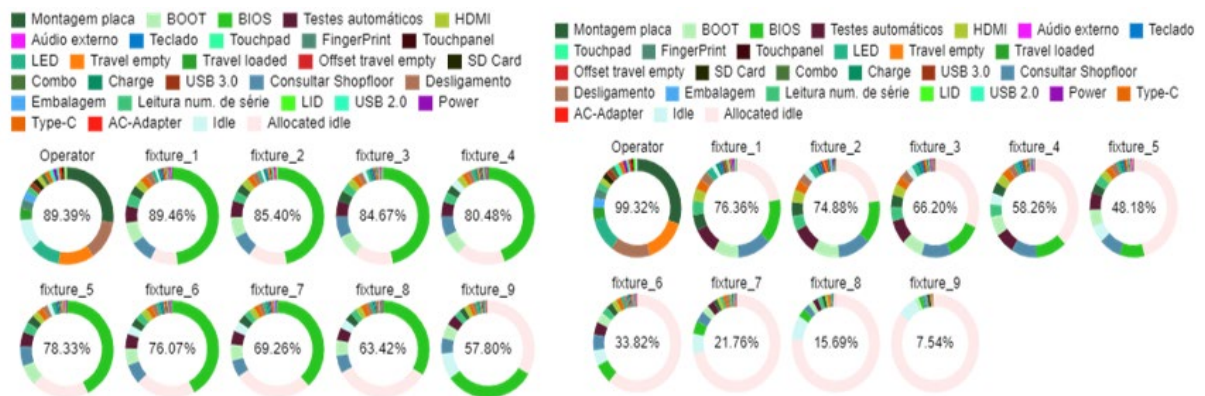
Fonte: Autor, 2023.

4.3.3 Cenário 2: sem a atualização da bios

Tanto no cenário atual quanto no Cenário 1, ficou evidente que a atualização da BIOS ocupava uma parte significativa do *fixture*. BIOS é a sigla para Basic Input/Output System, ou Sistema Básico de Entrada e Saída. Por muitos anos, foi o programa responsável por inicializar o sistema operacional e executar as principais funções de um computador assim que ele era ligado.

Por isso, decidiu-se eliminar essa etapa no Cenário 2. Na figura 29, observou-se um aumento na ocupação do operador, que alcançou 99,32%, enquanto a ociosidade dos *fixtures* aumentou no Cenário 2, sem a atualização da BIOS e com 9 *fixtures* no posto.

Figura 29 - Status de utilização por componente cenário atual vs cenário 2



Fonte: Autor, 2023.

Ao analisar a figura 30, observamos um aumento na produção total, que atingiu 117 placas. Isso representou um crescimento de 9,35% em comparação com a produção total do cenário atual.

Figura 30 - Saída total do cenário atual vs cenário 2



Fonte: Autor, 2023.

Replicações da quantidade de *fixtures* com suas respectivas produções totais foram realizadas, conforme mostrado na tabela 1. Observamos que, ao reduzir de 9

para 6 *fixtures*, ainda ocorreu um aumento na produção total de placas. No entanto, ao utilizar 5 *fixtures*, houve uma diminuição.

Tabela 1 - Replicações da quantidade de *fixtures* e produção total no cenário 2

Quantidade de <i>Fixtures</i>	Produção Total de Placas (und)
9	117
6	113
5	103

Fonte: Autor, 2023.

4.3.4 Cenário 3: paralelo

No Cenário 3, a melhoria sugerida foi realizar as conexões e desconexões dos cabos simultaneamente aos testes. O quadro 1 mostrou quais conexões e desconexões ocorreriam em paralelo com os respectivos testes.

Quadro 1 - Conexões e desconexões com seus respectivos testes

Conexões/Desconexões	Testes
Conectar os cabos HDMI e DP	BIOS
Remover os Cabos HDMI e DP Conectar Cabo AC Power	Executar Teste Power
Conectar USB 3.0	Executar Teste Type-c Executar Teste Ac-adapter Executar Teste Charge
Desconectar cabo Type_C Desconectar cabo 3.0 Desconectar cabo USB 2.0	Shopfloor

Fonte: Autor, 2023.

A figura 31 indicou uma produção total de 114 placas, o que correspondeu a um aumento de 6,54% em relação ao cenário atual. Vale destacar que esse resultado foi alcançado utilizando 9 *fixtures* em um único posto.

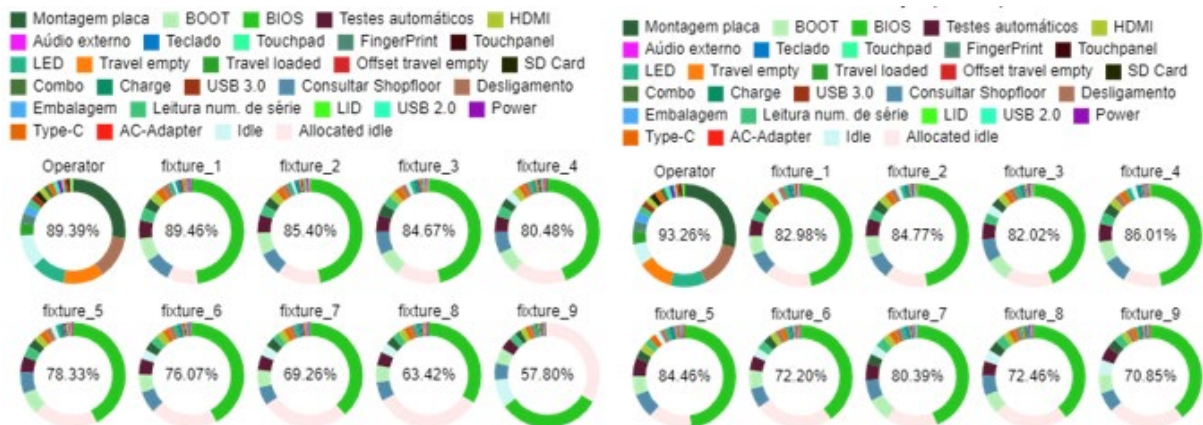
Figura 31 - Saída total do cenário atual vs cenário 3



Fonte: Autor, 2023.

Na figura 32, ainda com 9 *fixtures* em um posto, observou-se um aumento de quase 4% na utilização do operador em comparação com o cenário atual.

Figura 32 - *Status* de utilização por componente cenário atual vs cenário 3



Fonte: Autor, 2023.

4.4 ANÁLISE COMPARATIVA DOS CENÁRIOS

No cenário atual do processo, foi simulada uma jornada de trabalho com duração de 25.200 segundos, equivalente a 7 horas, considerando uma pausa de 3.600 segundos para o almoço. Conforme apresentado na tabela 2, foi realizada uma comparação entre o cenário simulado e o real, com base no UPH (unidades produzidas por hora) fornecido pela empresa.

No cenário real, o UPH é de 1,40, enquanto no simulado o resultado foi de 1,44 com a ineficiência do processo de 15%. Observou-se um erro de apenas 2,86%, indicando que o modelo simulado foi bastante próximo do cenário real, validando sua

utilização. Esse cenário foi, então, utilizado como base para a criação dos cenários seguintes.

Tabela 2 - Validação do modelo

Descrição	Cenário Real	Cenário Simulado	Erro (%)
Unidades Produzidas por Hora (UPH) com ineficiência	1,40	1,44	2,86%

Fonte: Autor, 2023.

Em seguida na tabela 3, foi realizada uma comparação entre cenários, utilizando o cenário atual como referência. Nessa comparação, foram considerados dois aspectos principais: a "Produção Total de Placas" (em unidades) e a "Utilização do Operador" (em porcentagem).

No Cenário 1, houve uma redução tanto na produção quanto na utilização do operador, provavelmente devido à diminuição no número de *fixtures*. O Cenário 2 apresentou os melhores resultados, com 9,35% de aumento na produção e 11,12% na utilização do operador, o que indicou que a remoção da etapa *BIOS* aumentava a eficiência. Já o Cenário 3 teve um desempenho intermediário, com aumento na produção e na utilização do operador, mas sem atingir os níveis do Cenário 2.

Tabela 3 - Comparação dos cenários em relação ao cenário atual

Cenários	Descrição	Produção Total de Placas (und)	Variação de Produção (%)	Utilização do operador (%)	Variação de Utilização (%)
Cenário Atual	9 <i>fixtures</i>	107	-	89,39%	-
Cenário 1	8 <i>fixtures</i>	100	- 6,54%	81,52%	- 8,80%
Cenário 2	Sem <i>BIOS</i>	117	+ 9,35%	99,32%	+ 11,12%
Cenário 3	Paralelo com os testes	114	+ 6,54%	93,26%	+ 4,34%

Fonte: Autor, 2023.

Em relação à Tabela 4, foi realizada uma comparação entre os cenários, utilizando o "Cenário Atual" como referência, considerando tanto o UPH quanto o UPH com Ineficiência. Vale destacar que o UPH com Ineficiência levou em conta variáveis como a variação do operador, pausas, entre outros fatores.

O Cenário 1 apresentou a maior perda de eficiência, indicando que a redução de *fixtures* impactou negativamente a produção. Por outro lado, o Cenário 2 se destacou, com a maior melhoria tanto no UPH quanto no UPH com ineficiência, com aumentos de 9,41% e 9,72%, respectivamente, sugerindo que a remoção da etapa *BIOS* melhorou a eficiência. O Cenário 3 também apresentou uma melhoria significativa, demonstrando que a execução de atividades em paralelo com os testes foi uma estratégia vantajosa.

Tabela 4 - Análise do UPH e UPH com ineficiência comparados ao cenário atual

Cenários	Descrição	UPH	Variação de UPH (%)	UPH com Ineficiência	Variação de UPH com Ineficiência (%)
Cenário Atual	9 <i>fixtures</i>	1,70	-	1,44	-
Cenário 1	8 <i>fixtures</i>	1,59	- 6,47%	1,35	- 6,25%
Cenário 2	Sem <i>BIOS</i>	1,86	+ 9,41%	1,58	+ 9,72%
Cenário 3	Paralelo com os testes	1,81	+6,47%	1,54	+ 6,94%

Fonte: Autor, 2023.

5 CONCLUSÕES

A simulação computacional demonstrou sua relevância na tomada de decisões, na empresa estudada, por meio do emprego do *software FlexSim*. O processo de testes funcionais na célula do produto "*Warlock MLK*" foi totalmente mapeado para a construção do modelo conceitual. Durante o mapeamento, os dados de entrada do modelo foram coletados e tratados. Após a finalização dessas etapas, o modelo computacional foi desenvolvido.

Com isso, a pesquisa permitiu, por meio de simulações e comparações entre o cenário real e os cenários alternativos, validar o modelo de simulação utilizado para representar o processo produtivo. O erro de apenas 2,86% entre o cenário simulado e o real reforçou a confiabilidade do modelo, tornando-o uma ferramenta útil para testar modificações no processo e prever seus possíveis impactos.

Para avaliar os impactos nos processos da empresa, foram simulados três cenários. No Cenário 1, a redução no número de *fixtures* resultou em um impacto negativo na eficiência, ocasionando diminuição tanto na produção quanto na utilização do operador. Diante disso, concluiu-se que reduzir a quantidade de *fixtures* não seria viável, optou-se por manter os 9 *fixtures* em uma célula.

O Cenário 2, que eliminou a etapa *BIOS*, destacou-se como a melhor alternativa, apresentando os maiores aumentos no UPH e no UPH com ineficiência, com melhorias de 9,41% e 9,72%, respectivamente. Esse cenário sugeriu que a remoção de uma etapa que não agregou valor ao processo, poderia aumentar significativamente a eficiência produtiva.

O Cenário 3 também demonstrou melhorias relevantes, com aumentos de 6,47% no UPH e 6,94% no UPH com ineficiência. A realização de atividades em paralelo com os testes revelou-se uma estratégia vantajosa, embora os ganhos obtidos não tenham sido tão expressivos quanto os do Cenário 2.

Analisando os três cenários, o que apresentou os melhores resultados foi o Cenário 2, que removeu a etapa de atualização da *BIOS*. Contudo, destacou-se que, apesar dos bons resultados da simulação, recomenda-se um estudo mais aprofundado, pois eliminar essa etapa dos testes funcionais não é uma decisão simples. Assim, a alternativa mais viável e de implementação mais prática foi o Cenário 3, que envolvia apenas a realização de alguns testes em paralelo, demonstrando ser uma excelente segunda opção.

REFERÊNCIAS

ABREU, Cleyde Evangelista Maia *et al.* Indústria 4.0: Como as empresas estão utilizando a simulação para se preparar para o futuro. **Revista de Ciências Exatas e Tecnologia**, v. 12, n. 12, p. 49-53, 2017. Disponível em: <https://exatatecnologias.pgsscogna.com.br/rcext/article/view/5444>. Acesso em: 11 jan. 2023.

AMARAL, Bruno Holanda do. **Aplicação da simulação de eventos discretos (SED) e da aprendizagem baseada em problema (ABP) no ensino de gestão da produção**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção Mecânica) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/40632/1/2018_tcc_bhamaral.pdf. Acesso em: 20 jan. 2023.

AUTODESK. **Manufacturing Simulation**. Versão 22.2.4. Disponível em: <https://www.flexsim.com/manufacturing-simulation/>. Acesso em: 16 jun. 2024.

BANKS, Jerry *et al.* **Discrete-event system simulation**. 5. ed. Prentice Hall, 2010.

BANKS, Jerry *et al.* **Discrete-event system simulation**. Prentice-Hall international series in industrial and system engineering. New Jersey: Prentice Hall, 1984. Disponível em: https://pavandm.wordpress.com/wp-content/uploads/2017/03/discrete-event-system-simulation-jerry-banks_2.pdf. Acesso em: 13 jan. 2023.

BASSI, Renata Elaine *et al.* A utilização do simulador Flexsim no processo de um lava-rápido de veículos. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 11., 2021, Curitiba. **Anais** [...] Paraná. Disponível em: https://aprepro.org.br/conbrepro/2021/anais/arquivos/07272021_140728_6100445866f10.pdf. Acesso em: 11 jan. 2023.

BORBA, Felipe Willian de. **Análise dos processos de abastecimento e limpeza em uma empresa de fretamento com o software Flexsim**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Transportes e Logística) - Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2024. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/255805/TCC_Felipe_Willian_d_e_Borba_final.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 15 jan. 2023.

CHWIF, Leonardo; MEDINA, Afonso C. **Modelagem e simulação de eventos discretos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

CHWIF, Leonardo; MEDINA, Afonso C. **Modelagem e simulação de eventos discretos: teoria e aplicações**. 3. ed. São Paulo: Ed. Bravarte, 2010.

CORRÊA, Henrique L.; CORRÊA, Carlos A. **Administração de produção e de operações: manufatura e serviços: uma abordagem estratégica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2022.

FIGUEIREDO, Luiz Antonio. **Simulação do processamento de passageiros: Check point do terminal aeroportuário de Goiânia**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas da Pontifícia) - Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2017. Disponível em: <https://tede2.pucgoias.edu.br/handle/tede/3721>. Acesso em: 14 jan. 2023.

GOMES, Tamara Aureliano. **Estudo para análise de tomada de decisão: avaliação das ferramentas de mapeamento de processos de negócios Bizagi e Bonita**. 2022. Dissertação (Mestrado em Gestão nas Organizações) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2022. Disponível em: https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/25825/1/TamaraAurelianoGomes_Dissert.pdf. Acesso em: 14 jan. 2023.

MARETH, Taciana; ALVES, Tiago W.; BORBA, Gustavo S. Mapeamento de processos e simulação como procedimentos de apoio à gestão de custos: uma aplicação para o processo de registros e matrículas da universidade de cruz alta. *In: CONGRESSO USP CONTROLADORIA E CONTABILIDADE*, 9., 2009, São Paulo. **Anais** [...] São Paulo. Disponível em: <https://congressosp.fipecafi.org/anais/artigos92009/237.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2023.

MIGUEL, Paulo Augusto Cauchick. (org.). **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda, 2021.

MIRANDA, R. C. **Redução do espaço de busca em problemas de otimização via simulação utilizando análise envoltória de dados e arranjos ortogonais de Taguchi**. 2015. 186 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2015. Disponível em: https://repositorio.unifei.edu.br/jspui/bitstream/123456789/126/1/tese_miranda_2015.pdf. Acesso em: 13 jan. 2023.

OLIVEIRA, Edson Farias de. **Otimização do tempo de teste funcional de placa de circuito impresso montada para computador pessoal**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufpa.br/handle/2011/10079>. Acesso em: 12 jan. 2023.

PAINES, André *et al.* Mapeamento de processos: um estudo de caso na central de aquisições de uma instituição federal de ensino superior. **Revista Brasileira de Administração Científica**, v. 10, n. 1, p. 43-56, 2019. Disponível em: <https://sustenere.inf.br/index.php/rbadm/article/view/CBPC2179-684X.2019.001.0004/1544>. Acesso em: 11 jan. 2023.

PEINADO, Jurandir; GRAEML, Alexandre Reis. **Administração da produção: operações industriais e de serviços**. Curitiba: Unicenp, 2007.

PEREIRA, José Sávio Gonçalves Antunes. **Aplicação de simulação a eventos discretos na área de intralogística de uma linha de montagem de chassis**. 2018. 67 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Faculdade de

Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2018. Disponível em:
<https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/ae5000cc-da83-4930-afdc-afa2c32df613/content>. Acesso em: 13 jan. 2023.

RANDON, Gabriel; CECCONELLO, Ivandro. Simulação como Tecnologia Habilitadora da Indústria 4.0: Uma Revisão da Literatura. **Scientia cum Industria**, v. 7, n. 2, p. 117-125, 2019. Disponível em:
<https://sou.ucs.br/etc/revistas/index.php/scientiacumindustria/article/view/7765/pdf>. Acesso em: 13 jan. 2023.

RIVETT, P. **Model building for decision analysis**. New York: J. Wiley, 1980.

SILVA, Paulo C.; ALVES, Thiago S.; BRUNO, Elisângela A. AUTOMAÇÃO DE TESTES FUNCIONAIS: Testes funcionais automatizados de software. **Revista de Ciências Exatas e Tecnologia**, v. 6, n. 6, p. 113-133, 2011. Disponível em:
<https://exatatecnologias.pgsscogna.com.br/rcext/article/view/2311>. Acesso em: 12 jan. 2023.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da Produção**. São Paulo: Atlas, 2002. p. 124; 200-215.