

**JOSÉ SÁVIO GONÇALVES ANTUNES PEREIRA**

**Aplicação de simulação a eventos discretos na área de intra-logística  
de uma linha de montagem de chassis**

**José Sávio Gonçalves Antunes Pereira**

**Aplicação de simulação a eventos discretos na área de intra-logística  
de uma linha de montagem de chassis**

Dissertação defendida junto ao Conselho de Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Mestrado Profissional em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Augusto Silva Marins

Co-orientador: Prof. Dr. Aneirson Francisco da Silva

Guaratinguetá/SP  
2018

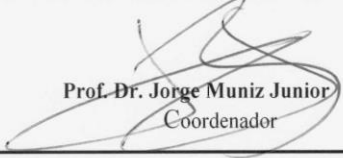
	Pereira, José Sávio Gonçalves Antunes
P436a	Aplicação de simulação a eventos discretos na área de intra-logística de uma linha de montagem de chassis / José Sávio Gonçalves Antunes Pereira – Guaratinguetá, 2018. 59 f : il. Bibliografia: f. 56-58  Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2018. Orientador: Prof. Dr. Fernando Augusto Silva Marins Coorientador: Prof. Dr. Aneirson Francisco da Silva  1. Métodos de linha de montagem    2. Métodos de simulação 3. Modelagem de processos I. Título.
	CDU 658.515(043)

**JOSÉ SÁVIO GONÇALVES ANTUNES PEREIRA**


**ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE  
“MESTRE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO”**

**PROGRAMA: ENGENHARIA DE PRODUÇÃO  
CURSO: MESTRADO PROFISSIONAL**

**APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO**

  
**Prof. Dr. Jorge Muniz Junior**  
Coordenador

**BANCA EXAMINADORA:**

  
**Prof. Dr. FERNANO AUGUSTO SILVA MARINS**  
Orientador / UNESP/FEG

  
**Prof. Dr. VALÉRIO ANTONIO PAMPLONA SALOMON**  
UNESP/FEG

  
**Prof. Dr. LEONARDO ANTONIO MONTEIRO PESSÔA**  
CASNAV, Marinha do Brasil

*Dezembro de 2018*

## **DADOS CURRICULARES**

### **JOSÉ SÁVIO GONÇALVES ANTUNES PEREIRA**

<b>NASCIMENTO</b>	19/03/1982 - Cruzeiro / SP
<b>FILIAÇÃO</b>	Manoel Antunes Pereira Maria Ercília Silva Antunes Pereira
<b>2002/2009</b>	Graduação em Engenharia Elétrica Universidade Federal de Itajubá

Este trabalho contou com o apoio das seguintes entidades:

CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoa de Nível Superior

CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

FDCT - Fundação para o Desenvolvimento Científico e Tecnológico

## RESUMO

Neste trabalho aplicou-se a Simulação a Eventos Discretos na área de Intra-logística de abastecimento de uma linha de montagem de chassis, de uma indústria multinacional, (na fase de *try-out*). Objetivou-se desenvolver uma ferramenta gerencial que possibilitasse a identificação, a priori, de possíveis gargalos na linha de montagem, que possam surgir quando da sua implementação em regime de produção. Como delimitação do trabalho, foram simuladas, como variáveis de entrada, apenas os tamanhos de lotes de peças que abastecem as estações do trabalho robotizadas de solda dos subconjuntos dos chassis, adotando-se os dados de uma linha de montagem similar já existente. No desenvolvimento da ferramenta gerencial foi utilizada uma técnica de modelagem dedicada a projetos de simulação e um software comercial de simulação, bem como foram aplicados testes estatísticos não paramétricos na validação do modelo de simulação. O modelo simulado mostrou capacidade de atendimento à linha de montagem com oportunidade de otimização e de melhor balanceamento de mão de obra, dando origem a sugestões de melhoria no processo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Balanceamento de linha de montagem. Intra-logística. IDEF-SIM. Simulação a eventos discretos.

## **ABSTRACT**

In this work had been applied the Discrete Events Simulation technique in the Intralogistics area of supply of a chassis assembly line, of a multinational industry, (in the try-out phase). The objective was to develop a management tool that would allow the identification, at first, of possible bottlenecks on the assembly line, which may arise when it is implemented under a production regime. As a delimitation of the work, only the batch sizes of pieces that supply the robotized welding cells of the chassis subassemblies were simulated as input variables, using data from a similar existing assembly line. In the development of the management tool, a modeling technique dedicated to simulation projects and a commercial simulation software were used, as well as nonparametric statistical tests were applied in the validation of the simulation model. The simulated model showed the ability to service the assembly line with the opportunity for optimization and better balancing of labor, giving rise to suggestions for improvement in the process.

**KEYWORDS:** Discrete event simulation. Intralogistics. IDEF-SIM.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Tecnologias Habilitadoras da Indústria 4.0.....	16
Figura 2	Avaliação dos Softwares de Simulação .....	20
Figura 3	Resultados para a palavra-chave “Simulação a Eventos Discretos”.....	22
Figura 4	Resultados para as palavras chaves “Simulação a Eventos Discretos” e “Linha de Montagem”.....	22
Figura 5	Resultados para as palavras chaves “Simulação a Eventos Discretos” e “Produção Enxuta”.....	23
Figura 6	Resultados para a palavra-chave “Simulação a Eventos Discretos” com respeito às áreas de aplicação (número de publicações) .....	23
Figura 7	Resultados para a palavra-chave “Simulação a Eventos Discretos” com respeito ao tipo de publicação (número de publicações) .....	24
Figura 8	Etapas da Pesquisa.....	26
Figura 9	Classificação da Pesquisa.....	27
Figura 10	Etapas de formulação do modelo, implementação, verificação e análise dos resultados.....	34
Figura 11	Entrada de valores determinísticos gerando resultados determinísticos.....	35
Figura 12	Entrada de valores estocásticos gerando resultados estocásticos.....	35
Figura 13	Planta baixa da linha de montagem e identificação dos objetos relevantes.....	47
Figura 14	Trajeto realizado pela Rota Logística 1.....	48
Figura 15	Trajeto realizado pela Rota Logística 2.....	49
Figura 16	Trajeto realizado pela Rota Logística 3.....	49
Figura 17	Trajeto realizado pela Rota Logística 4.....	50
Figura 18	Modelo Conceitual IDEF-SIM do Objeto de Estudo.....	53
Figura 19	Teste de Normalidade para Tomadas de Tempo na Linha de Montagem.....	56
Figura 20	Teste de Mann-Whitney para os tempos do Operador1.....	57
Figura 21	Configurações básicas da rodada simulada.....	58
Figura 22	Execução da simulação.....	59
Figura 23	Estado dos operadores ao longo da simulação.....	60
Figura 24	Sumário de Entidades.....	60
Figura 25	Utilização das Estações do trabalho Robotizadas (%).....	61

## TABELAS

Tabela 1 – Descrição esquemática dos fluxos logísticos envolvidos no sistema a ser modelado.....	51
--	----

## QUADROS

Quadro 1 – Relação das palavras-chave com os resultados encontrados.....	21
Quadro 2 – Funcionalidades e aplicabilidades do IDEF.....	42
Quadro 3 – Simbologia utilizada na técnica IDEF-SIM.....	43
Quadro 4 – Descrição dos objetos presentes do modelo conceitual.....	53

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SED	Simulação a Eventos Discretos
TI	Tecnologia da Informação
IDEF-SIM	<i>Integrated DEFinition Methods - SIMulation</i>
BPM	<i>Bussiness Project Modeling</i>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA E QUESTÃO DE PESQUISA.....	14
1.2	OBJETIVOS, DELIMITAÇÃO DA PESQUISA, LIMITAÇÕES E JUSTIFICATIVAS.....	17
1.3	MÉTODO E CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA.....	24
1.4	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	27
<b>2</b>	<b>EMBASAMENTO TEÓRICO.....</b>	<b>28</b>
2.1	LINHAS DE MONTAGEM.....	28
2.1.1	Arranjos Produtivos.....	28
2.1.2	Arranjo em Linha.....	29
2.1.3	Indicadores de Linha de Produção.....	30
2.1.4	Balanceamento de Linha de Produção.....	31
2.2	MILK RUN.....	31
2.3	SIMULAÇÃO A EVENTOS DISCRETOS.....	32
2.3.1	Validação da simulação.....	36
2.3.2	Testes Estatísticos não paramétricos e uso na validação da simulação.....	38
2.4	TÉCNICAS DE MAPEAMENTO DE PROCESSO.....	39
2.4.1	Introdução e Definição de Processo.....	39
2.4.2	Mapeamento de Processos.....	40
2.4.3	Técnica de Modelagem IDEF-SIM.....	42
<b>3</b>	<b>DESCRIÇÃO DO PROBLEMA E MODELAGEM.....</b>	<b>45</b>
3.1	A EMPRESA OBJETO DO ESTUDO.....	45
3.2	PROBLEMA A SER TRATADO.....	45
3.2.1	Considerações iniciais.....	45
3.2.2	Descrição do objeto de estudo .....	45
3.3	MODELAGEM PELO IDEF-SIM.....	52
3.4	SIMULAÇÃO.....	55
3.4.1	Coleta e tratamento de dados de entrada.....	55
3.4.2	Validação dos Dados de entrada.....	56
3.4.3	Rodada de Simulação e Interpretação dos Resultados.....	58
3.4.4	Melhorias Sugeridas no Processo.....	61
<b>4</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>62</b>

4.1	VERIFICAÇÃO DOS OBJETIVOS E RESPOSTA À QUESTÃO DE PESQUISA...	62
4.2	SUGESTÕES PARA NOVOS TRABALHOS.....	62
4.3	VISÃO DA EMPRESA PATROCINADORA.....	63
	<b>REFERÊNCIA.....</b>	<b>64</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>67</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA E QUESTÃO DE PESQUISA

“Os consumidores em todo o mundo estão exigindo cada vez mais carros de maior qualidade a preços mais baixos com entrega rápida. Produção em massa é um método comum utilizado pela maioria das empresas automotivas na produção de automóveis para ganhar maior taxa de produção ao menor custo. Na produção em massa, linha de montagem são necessárias para gerenciar a carga de trabalho, de forma a obter-se um arranjo adequado entre homem e máquina para obter uma melhor eficiência nos resultados.” (JAMIL; RAZALI, 2016)

Consonante com o trecho acima, a busca por processos mais eficientes, linhas de produção otimizadas, redução de qualquer etapa que não agregue valor ao processo, otimização de recursos logísticos, são constantes em qualquer segmento na indústria, e essa busca é ainda mais latente na indústria automotiva, onde a competitividade é altamente acirrada. Mesmo no cenário atual, no qual já há aplicações em Indústria 4.0 e Manufatura Avançada, ainda há muito que se evoluir e otimizar nas linhas de montagem tradicionais, de produção em massa de produtos não customizados ou com baixo nível de customização.

Segundo Jamil e Razali (2016), existem dois questionamentos comuns que necessitam resolução quando se trata de balanceamento de linhas produtivas: minimizar tempo de ciclo e carga de trabalho das estações, tendo como limite superior, sempre o tempo de ciclo estabelecido para aquela linha, que em caso de fornecimento de peças para montadoras, chega a ser na maioria dos casos, item de contrato entre montadora e fornecedor, passível de multa em caso de não cumprimento, e minimizar recursos e conseqüentemente custos obtendo o mesmo resultado produtivo.

Segundo Miranda (2015), os sistemas que possuem a maior demanda de modelagem, como os de gerenciamento financeiros, logísticos, manufatura, tráfego e transportes, apresentam alto nível de complexidade por variabilidade, não linearidade de suas dinâmicas, tamanho e possibilidade de objetivos múltiplos.

Uma maneira altamente eficiente e difundida para testar as possibilidades e arranjos em uma linha de manufatura, na busca de um arranjo satisfatório (não necessariamente o ótimo ou um dos ótimos) com baixo custo e alta confiabilidade é o uso das ferramentas de Simulação a Eventos Discretos (*DES – Discrete Event Simulation*). Para se obter sucesso na utilização desta ferramenta, é importante garantir a qualidade das informações de entrada, e a fidelidade do modelo ao sistema real.

Para garantir a fidelidade do modelo, podem ser utilizadas técnicas de mapeamento de

processo, algumas das quais serão apresentadas neste trabalho.

“Através da combinação de várias tecnologias e com impactos generalizados abrangendo todos os setores, a quarta revolução industrial tem provocado alterações sem precedentes nas estruturas sociais e econômicas. Desenvolvendo-se no ambiente acelerado da era digital, em que a conexão e o processamento de informações acontecem por meio de abundantes possibilidades, esta revolução promove a reformulação da produção e consumo, incentiva a criação de novos modelos de negócios e fomenta os avanços tecnológicos, que crescem em ritmo exponencial gerando tecnologias cada vez mais qualificadas, tornando o momento atual potencialmente próspero” (SCHWAB, 2016).

Segundo Banks (1999) a simulação é uma das ferramentas que permite e viabiliza a criação de produtos e serviços cada vez melhores e mais eficientes, pois por meio desta tecnologia é possível errar e corrigir, otimizar, fazer da melhor forma, da mais economicamente viável, da mais rápida, sem os custos e tempo que seriam necessários para testar essas possibilidades no mundo real.

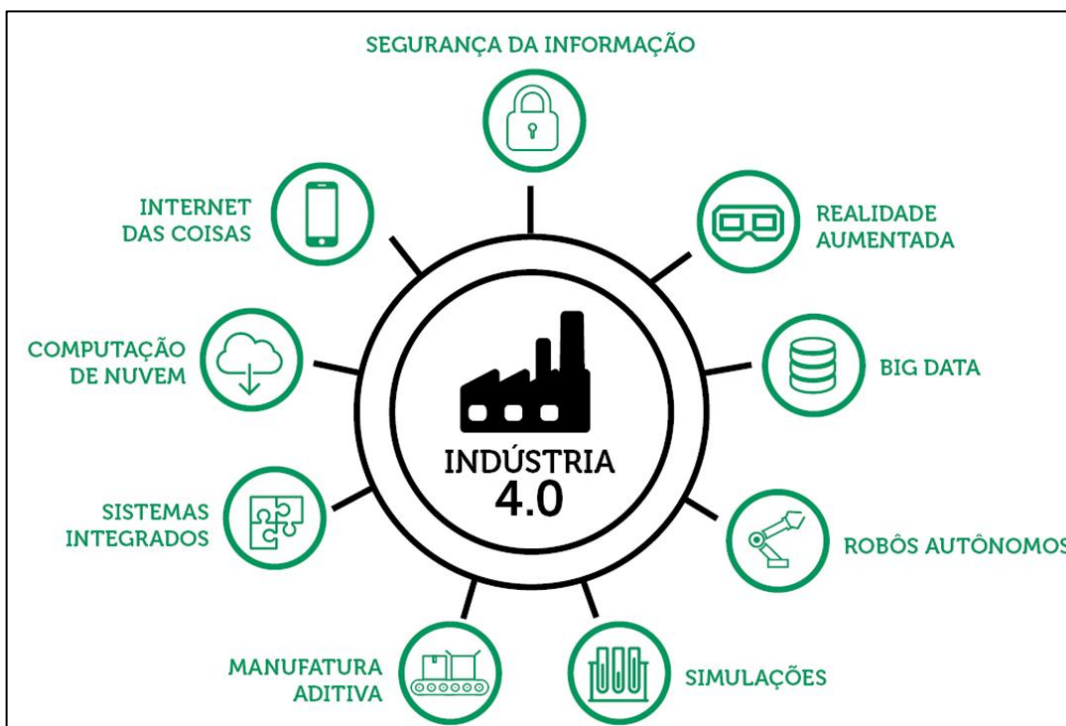
As mudanças são constantes no rápido ambiente da quarta revolução industrial, e com isso a simulação se tornou uma metodologia fundamental, considerada como uma das tecnologias habilitadoras dessa nova revolução industrial. A simulação atua de maneira preventiva e preditiva verificando possíveis cenários e antecipando alternativas viáveis.

Ainda de acordo com Banks (1999), a simulação não tem papel apenas nas decisões estratégicas de médio/longo prazo, como definição de uma nova linha de montagem por exemplo, mas também nas decisões do dia a dia, na prevenção de falhas e criando soluções para eventos não previstos em toda a cadeia produtiva.

De maneira geral, a simulação mantém seu papel de antecipação de conhecimento na nova revolução industrial, seja de aplicações, atividades e produtos, sem necessidade de execução física. Com a automatização de algumas tomadas de decisão, a simulação será fundamental para comparar os cenários e gerar os dados necessários para essas situações. A Figura 1 ilustra as tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0, entre elas encontra-se a simulação.



Figura 1 – Tecnologias Habilitadoras da Indústria 4.0 .



Fonte: Endeavor Brasil (2017)

Segundo Maciel (2016) o Sistema Toyota de produção baseia-se em eliminar as perdas e desperdícios de qualquer natureza ou qualquer atividade que não adicione valor ao produto em questão. São considerados desperdícios os seguintes: defeito, movimentação, estoque, espera, processamento e transporte. O uso da simulação, ainda segundo Maciel (2016), para realizar testes que necessitariam muito tempo e investimento, se realizados no mundo real, tem crescido e se tornado cada vez mais relevante, fato também alavancado pela evolução dos computadores e sua capacidade de processamento.

Para Carvalho (2003), as técnicas matemáticas de modelagem e simulação existem desde a década de 1950, porém, a difusão no mercado só foi possível graças ao avanço da programação computacional e da evolução dos computadores.

Segundo Carvalho (2003), as áreas de transporte marítimo, siderurgia e mineração, foram as primeiras a aplicar a modelagem e simulação para produção e logística. Com a viabilidade do acesso a recursos computacionais robustos, tornou-se notória a aplicação de modelagem e simulação por toda a cadeia de suprimentos.

Este trabalho irá, em um primeiro momento, por meio da técnica de modelagem IDEF-SIM, *Integrated DEFinition Methods - SIMulation* (MIRANDA, 2015), desenvolver um modelo referente ao abastecimento de peças estampadas diversas para estações do trabalho de solda

robotizadas responsáveis por abastecer, por sua vez, uma linha de montagem de chassis soldados com os seus subconjuntos.

O fluxo logístico a ser simulado contempla o abastecimento de peças estampadas do estoque intermediário para as estações do trabalho robotizadas, de modo que a simulação deste modelo utilizando software de DES possibilite encontrar um arranjo satisfatório, ou até mesmo ótimo, em relação à eficácia desta pequena cadeia de suprimentos, quanto à frequência e tamanho ideal dos lotes de cada estampado.

Entende-se pelo melhor arranjo, o que atender o *takt* time das estações do trabalho, previamente definido em função da linha de montagem, que tem por contrato uma capacidade definida de chassis/hora, e a minimização de recursos para atender essa solicitação, sendo esses recursos quantidade de viagens por peça, quantidade de operadores para realizar essas viagens e carrinhos de movimentação dedicados. A cadeia de fluxo logístico simulada descrita acima servirá de objeto de estudo para este trabalho.

Assim, este trabalho visará obter respostas a seguinte questão de pesquisa: é possível, por meio da aplicação de Simulação a Eventos Discretos, melhorar a intra-logística de abastecimento de uma linha de montagem de chassis, de forma a alcançar seu balanceamento satisfatório, ou mais próximo do ideal?

## 1.2 OBJETIVOS, DELIMITAÇÃO DA PESQUISA, LIMITAÇÕES E JUSTIFICATIVAS

Como objetivo geral, este trabalho visou desenvolver uma ferramenta gerencial, utilizando a Simulação a Eventos Discretos, por meio da modelagem utilizando a técnica IDEF-SIM, para identificar gargalos no abastecimento de uma linha de montagem de chassis que se encontra em fase de *try-out*, em uma indústria do setor automotivo.

Como objetivos específicos esse trabalho pretendeu:

- Modelar o sistema real do abastecimento da linha de montagem com a técnica de modelagem IDEF-SIM.
- Construir, por meio do modelo conceitual, o modelo computacional do abastecimento da linha de montagem utilizando o software ProModel<sup>®</sup>, escolhido pela empresa patrocinadora do projeto, devido a experiências anteriores bem-sucedidas com o uso do software, por meio de consultorias contratadas.
- Validar o modelo obtido por meio de dados coletados da linha na empresa estudada, por intermédio de técnicas estatísticas não paramétricas.

- Implementar o modelo computacional e testar alternativas de execução, visando a melhoria do fluxo logístico associado.

A pesquisa foi realizada em uma linha de montagem de chassis em fase de *try-out* de uma empresa do setor automotivo, e se restringiu a estudar o sistema intralogístico de abastecimento dessa linha, tendo como fronteira de entrada o estoque de peças estampadas proveniente de outras unidades fabris da mesma empresa, e como fronteira de saída a linha de montagem propriamente dita, ficando assim definida a delimitação da pesquisa.

Pode-se citar como limitações da pesquisa, o fato de a planta estudada se situar nas dependências do cliente (montadora) o que dificultou visitas para tomadas de dados diretas, causando assim a dependência de colaboradores terceiros. Outro ponto relevante é de que no início do trabalho a linha ainda estava em fase de *try-out*, e ao final em fase de arranque, ou seja, houve modificações ao longo desse período que não foram consideradas na coleta inicial de dados.

Existem no mercado muitos softwares comerciais de simulação de eventos discretos, com orientação a objeto e vários pacotes de modelos e ferramentas para diversas aplicações, tendo a maioria nascido para fins industriais e logísticos, mas logo ganharam grande mercado em outros setores, como o da saúde por exemplo.

De acordo com Dias et al. (2017), a diferença desses softwares em termos de recursos, ferramentas e funcionalidades é muito pequena, sendo então um critério válido nesse caso para escolha do software de simulação a ser utilizado, o acesso ao software, *know-how* disponível na academia e empresa envolvidos, cases conhecidos de utilização, suporte no mercado local e até mesmo popularidade. O software ProModel® se encaixa nas características citadas, e foi, com isso, escolhido para ser utilizado neste trabalho.

Para Dias et al. (2017), um método interessante de ranquear os softwares de simulação mais populares é por meio de quantidade de citações, resultados de busca nos principais mecanismos de pesquisa e redes sociais.

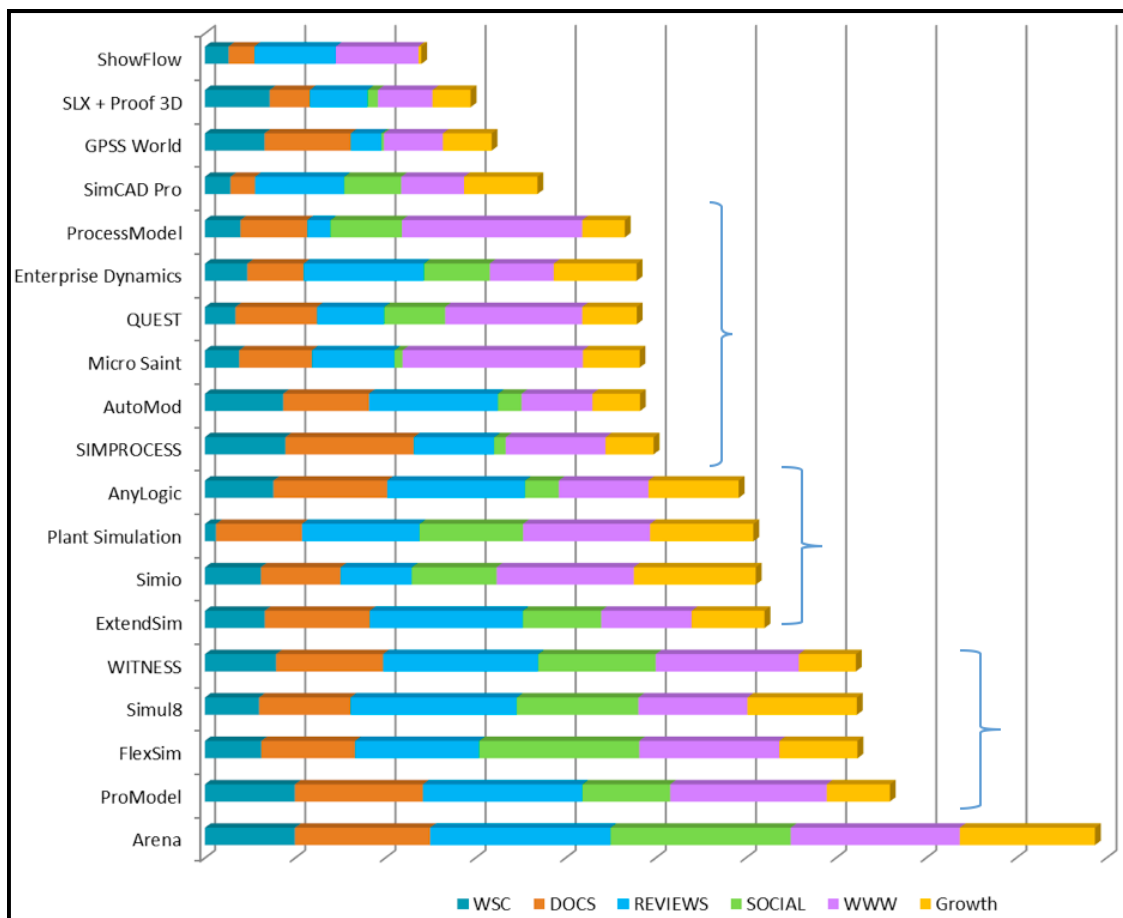
A Figura 2 mostra o resultado do ranqueamento realizado por Dias et al. (2017) destacando os principais softwares de simulação disponíveis no mercado, quando pesquisados em:

- WSC – publicações do Winter Simulation Conference.
- DOCS – Sites orientados a bancos de dados de documentos

- REVIEWS - Presença em revisões selecionadas, pesquisas, comparações, entre outras fontes selecionadas.
- SOCIAL – Redes Sociais (LinkedIn, Facebook, Instagram, Tweeter)
- WWW – Busca na internet aberta
- Growth - Tendência das pesquisas na Web (Delta) nos últimos 5 anos (novo).

É calculado com base no número de resultados da pesquisa em cada um dos últimos 5 anos - porcentagem - em relação ao número total de resultados da pesquisa. O valor final dessa categoria é obtido pela multiplicação da porcentagem obtida pelo peso atribuído.

Figura 2 – Avaliações de Softwares de Simulação.



Fonte: Dias et al. (2017)

Com o objetivo de apresentar a importância e a relevância do estudo em questão neste trabalho, realizaram-se algumas das etapas de uma análise bibliométrica com as palavras-chaves relacionadas ao tema abordado, utilizando as bases de dados Web of Science (<https://login.webofknowledge.com/>). No Quadro 1 segue a relação das palavras-chave buscadas, as quantidades de documentos encontradas e os números de citações associados.

Com base no Quadro 1, é possível inferir que este trabalho irá contribuir tanto para o desenvolvimento científico como para a disseminação da técnica de modelagem IDEF-SIM e da Simulação a Eventos Discretos, tendo em vista a ausência de resultados na base de dados consultada.

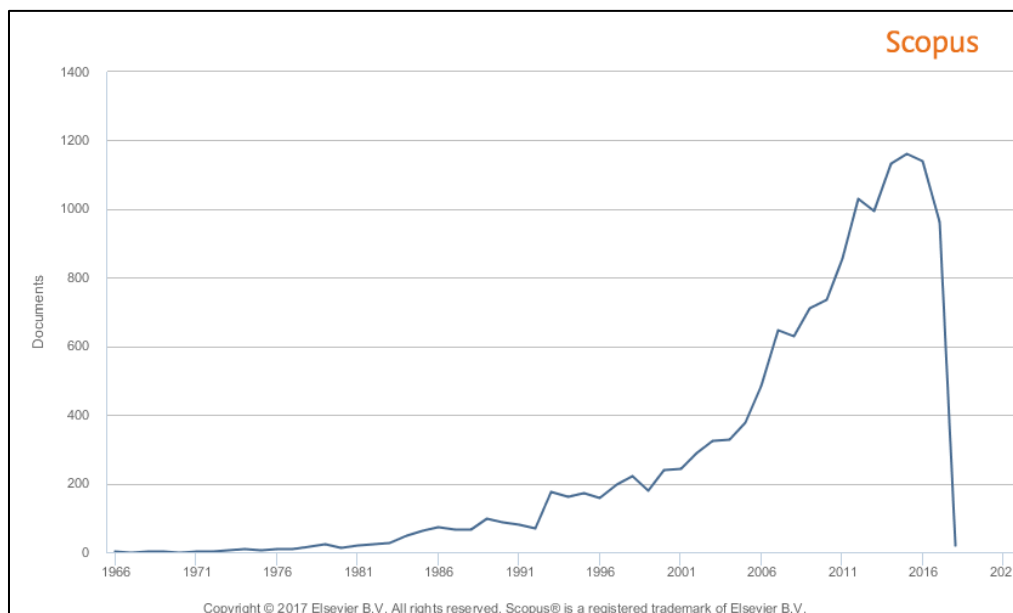
Quadro 1 – Resultados de pesquisa na Web of Science

<b>Palavras-chave</b>	<b>Nº de documentos relacionados</b>	<b>Nº de citações associado</b>
<i>Discrete Event Simulation</i>	6.316	37.920
<i>Discrete Event Simulation AND assembly line</i>	52	282
<i>Discrete Event Simulation AND lean manufacturing</i>	24	170
<i>Discrete Event Simulation AND lean production</i>	10	24
<i>Discrete Event Simulation AND production management</i>	17	71
<i>Discrete Event Simulation AND assembly line AND IDEF-SIM</i>	0	0
<i>Discrete Event Simulation AND lean manufacturing AND IDEF- SIM</i>	0	0
<i>Discrete Event Simulation AND lean production AND IDEF- SIM</i>	0	0
<i>Discrete Event Simulation AND production management AND IDEF-SIM</i>	0	0

Fonte: Web of Science (2018)

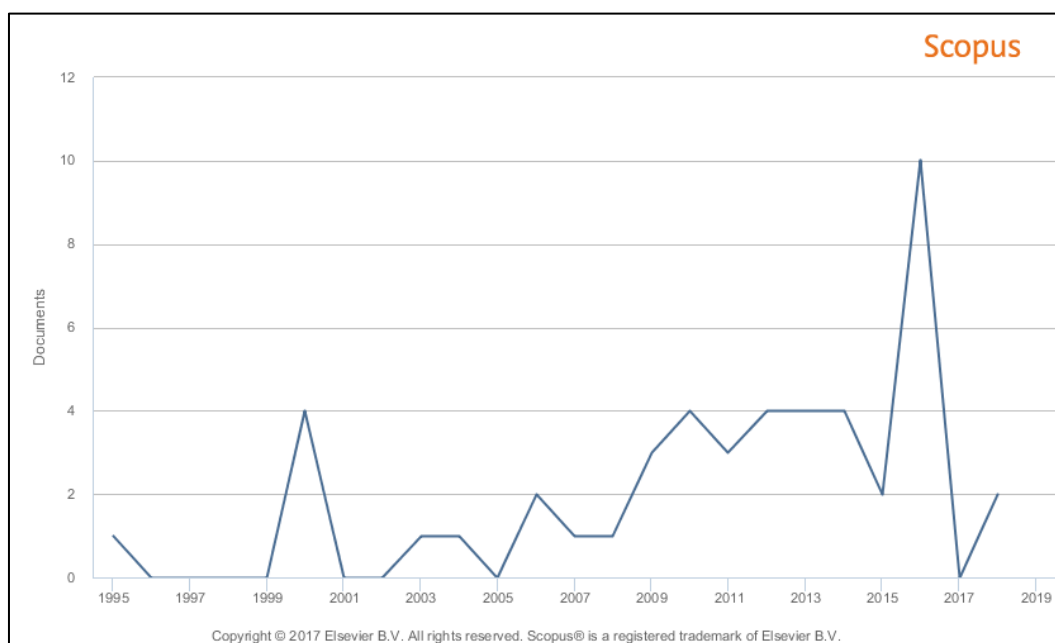
Outra análise, que foi realizada, é quanto à atualidade do tema estudado. As Figuras 3, 4 e 5 ilustram a ocorrência de um número crescente de publicações nos últimos anos na base de dados Scopus (<https://www.scopus.com/>), relacionados à aplicação de Simulação a Eventos Discretos em Linhas de Montagem, num ambiente de Produção Enxuta e buscando melhorias para o Gerenciamento de Produção. Vale a ressalva de que as quedas abruptas referentes ao ano de 2019 nos gráficos é devido à não efetivação das publicações referentes ao ano, o que não tira a relevância do tema e seu crescente interesse.

Figura 3 – Resultados para a palavra-chave “Simulação a Eventos Discretos”



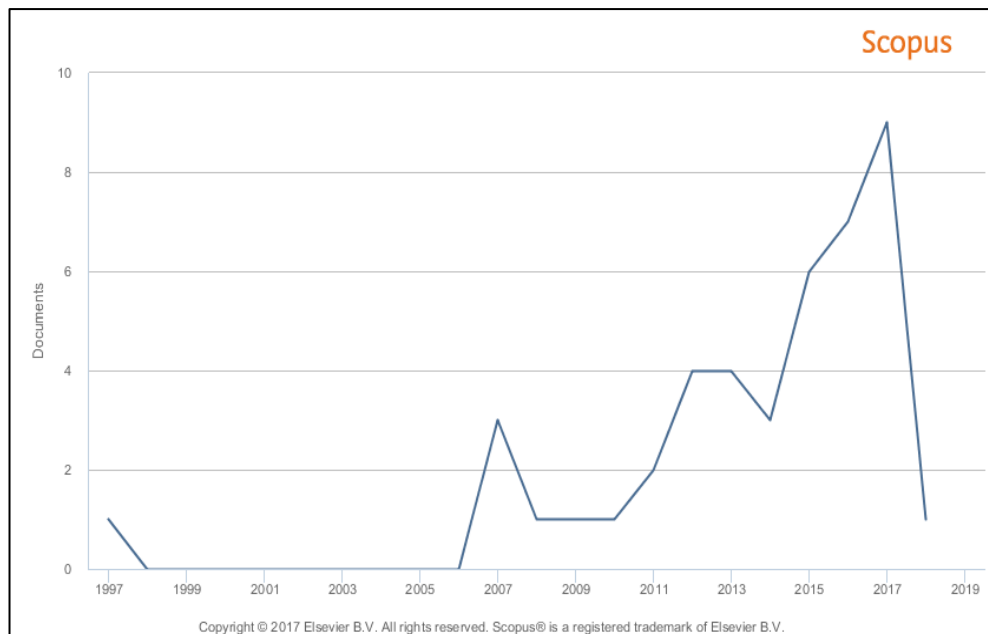
Fonte: Scopus (2018).

Figura 4 – Resultados para as palavras-chaves “Simulação a Eventos Discretos” e “Linha de Montagem”



Fonte: Scopus (2018).

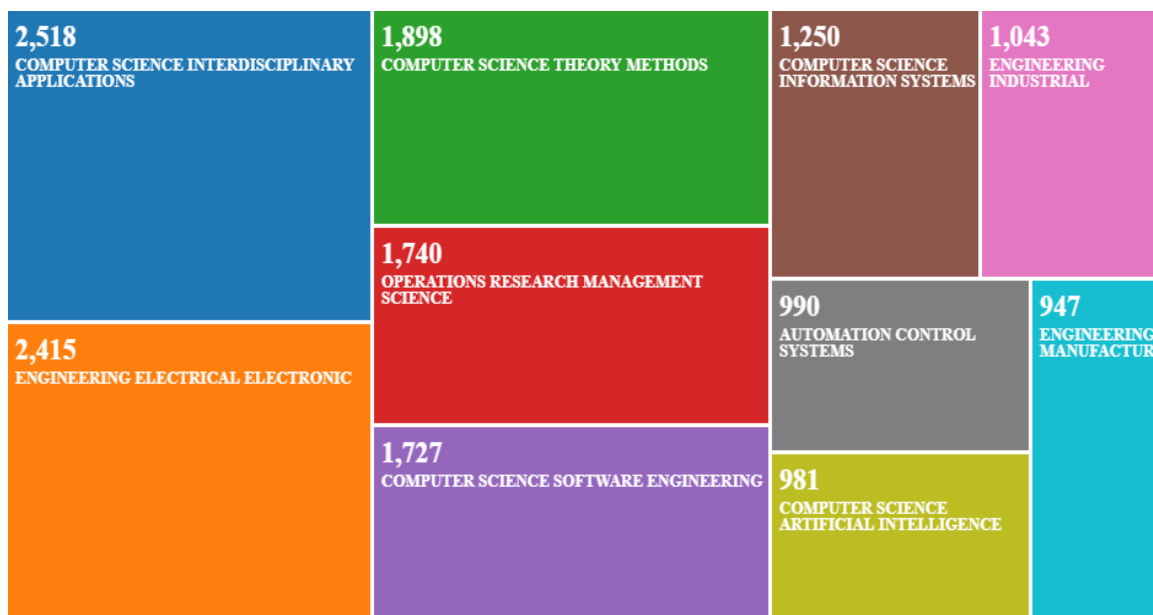
Figura 5 – Resultados para as palavras chaves “Simulação a Eventos Discretos” e “Produção Enxuta”



Fonte: Scopus (2018).

O tema “ Simulação a Eventos Discretos” é relevante em várias áreas da ciência e das engenharias, e em diversos tipos de publicações, conforme mostram as figuras 6 e 7.

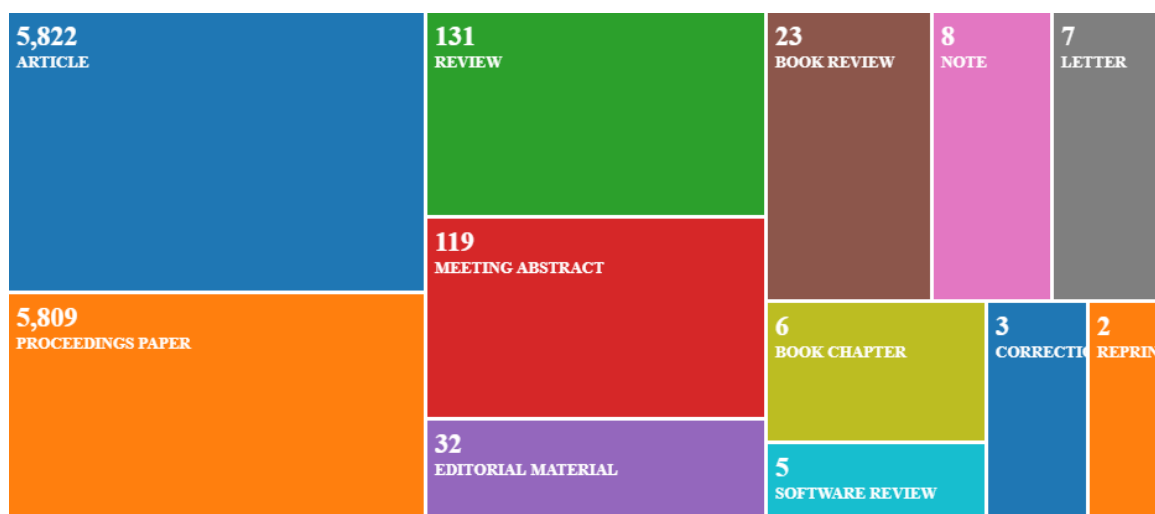
Figura 6 – Resultados para a palavra-chave “Simulação a Eventos Discretos” com respeito às áreas de aplicação (número de publicações)



Fonte: Web of Science (2018)



Figura 7 - Resultados para a palavra-chave “Simulação a Eventos Discretos” com respeito ao tipo de publicação (número de publicações)



Fonte: Web of Science (2018)

O estudo bibliométrico realizado mostrou a crescente relevância do tema no meio acadêmico e científico, e isso é reflexo da sua aplicabilidade:

- Do ponto de vista acadêmico, este trabalho traz uma aplicação interessante da SED em intra-logística de linhas de montagem, incluindo o balanceamento desde abastecimento, comparação com uma linha similar existente, através por meio do uso de ferramentas da estatística descritiva e também a aplicação e difusão do método de modelagem IDEF-SIM.

- Do ponto de vista da empresa estudada, há interesse numa ferramenta gerencial flexível que permita a modelagem e a simulação de sistemas produtivos. No caso em questão, trata-se de verificar se o arranjo intralogístico proposto é suficiente para atender o *takt-time* da linha de montagem estudada, ou se necessário, identificar os gargalos existentes, auxiliando na melhoria do arranjo intralogístico, levando em conta um número fixo de operadores logísticos internos, variações na quantidade de viagens (consequentemente intervalo entre elas) que cada um faria e quantidade de peças por viagem. Nada impede que o estudo prove que a quantidade de operadores pré-dimensionada é demasiada ou insuficiente.

### 1.3 MÉTODO E CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Este trabalho, em um primeiro momento, por meio da técnica de modelagem IDEF-SIM, desenvolveu um modelo referente ao abastecimento de peças estampadas diversas para estações do trabalho de solda robotizadas responsáveis por abastecer, por sua vez, uma linha

de montagem de chassis soldados com os seus subconjuntos.

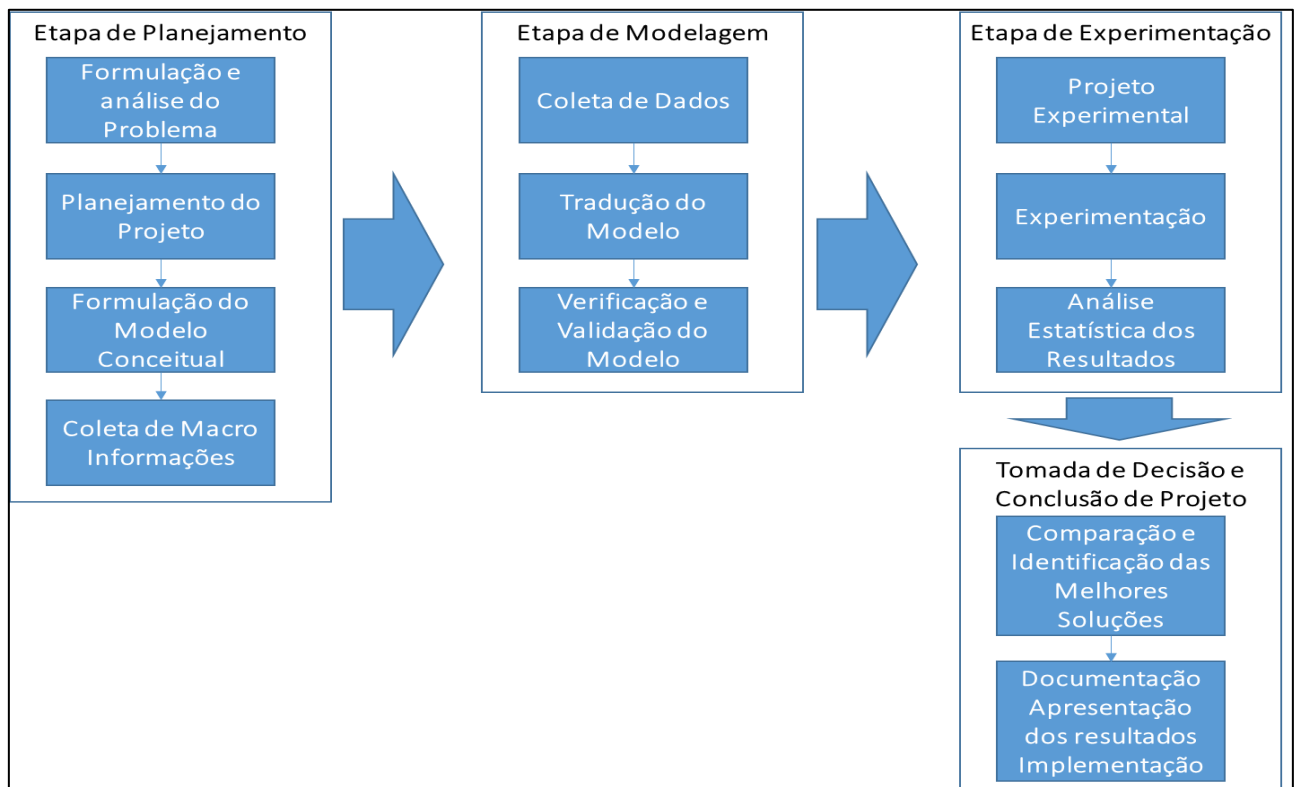
O sistema logístico simulado contemplou três linhas de abastecimento de peças estampadas do estoque intermediário para as estações do trabalho robotizadas, e das estações do trabalho robotizadas, os subconjuntos prontos para a linha de montagem, de modo que a simulação deste modelo utilizando software de DES possibilitasse encontrar um arranjo satisfatório, ou até mesmo ótimo, em relação à eficácia desta pequena cadeia de suprimentos, quanto à frequência e tamanho ideal dos lotes de cada grupo de estampado.

Entende-se pelo melhor arranjo, o que atender o *takt-time* da linha de produção, levando em conta o tempo de ciclo definido das estações do trabalho (valor constante) previamente definido em por contrato uma capacidade definida de chassis/hora, e a minimização de recursos para atender essa solicitação, sendo esses recursos quantidade de viagens por peça, quantidade de operadores para realizar essas viagens e carrinhos de movimentação dedicados.

Além de atender o *takt-time* da linha de produção, que é constante nesse projeto, por definição de contrato com o cliente, não podendo ser comprometida a quantidade de chassis por hora entregues à montadora, sendo esta penalidade passível de multa agressiva, levando em conta que o tempo de ciclo das estações do trabalho de solda robotizadas também é um valor constante de projeto. Uma solução mais que suficiente, seria uma que, além de atender o *takt-time* da linha de montagem, minimizasse os recursos logísticos pré-estabelecidos, evitando custos desnecessários ou realocando o recurso em excesso para outra atividade gargalo.

As etapas para a formulação de um determinado estudo, envolvendo modelagem e simulação, é uma lista clássica utilizada por uma variedade de autores na solução de problemas desse tipo. A Figura 8 ilustra essas etapas, que serão adotadas neste trabalho, por meio de um fluxograma (FREITAS FILHO, 2008).

Figura 8 – Etapas da Pesquisa



Fonte: Adaptado de Freitas Filho (2008).

Segundo Freitas Filho (2008), independentemente da abordagem adotada ou do autor estudado, um problema estudado que envolva modelagem e simulação, não foge a um padrão clássico, cujas etapas são:

- **Formulação e análise do problema:** descreve e define os objetivos e o propósito do estudo;
- **Planejamento do projeto:** estuda a possibilidade de se realizar o estudo, verificando se os recursos (pessoal, suporte, software, etc.) necessários estão acessíveis à empresa;
- **Formulação do modelo conceitual:** criação de um esboço gráfico do sistema, evidenciando as interações lógicas, definindo os componentes e descrevendo as variáveis;

**Coleta de macro informações:** coleta de dados, fatos, estatísticas, arquivos históricos, dentre outros.

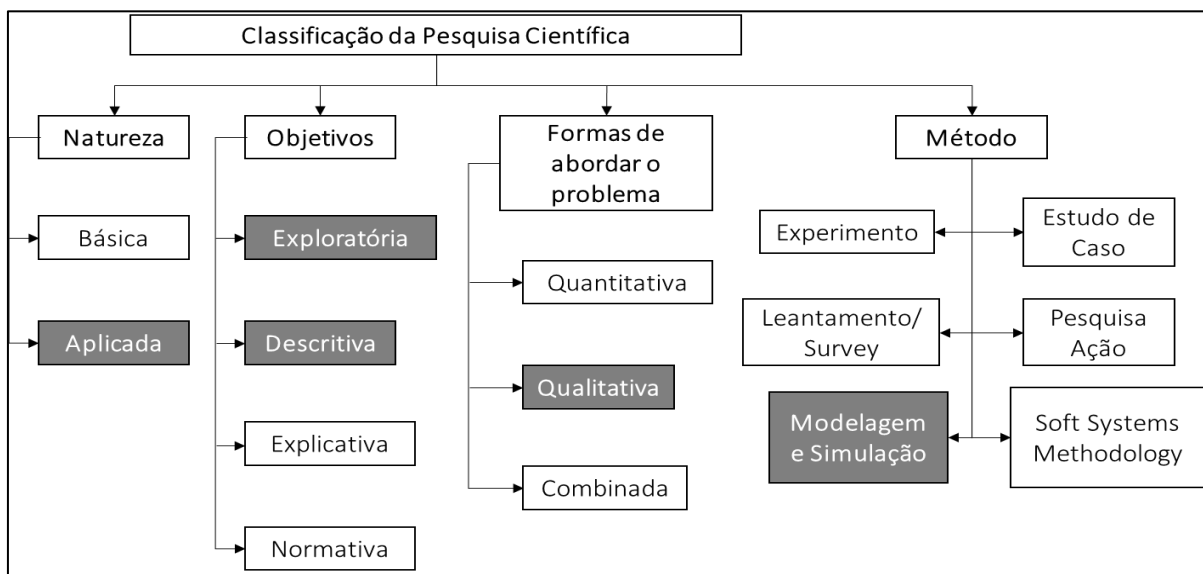
Sendo assim definida, a pesquisa passou pelas seguintes etapas:

- **Modelagem da cadeia intra-logística estudada** – foi utilizado o método de modelagem IDEF-SIM;

- Foram realizadas reuniões com a equipe de engenharia responsável pelo projeto, para coletar as informações necessárias referentes à linha: equipamentos, produtos fabricados, processos, tempos esperados, *layout* AutoCAD®, e demais informações pertinentes conforme necessidade do trabalho;
- O modelo foi simulado no software ProModel®;

Definidas as etapas do trabalho, faz-se necessário classificar o tipo de pesquisa que será realizada. Assim, a classificação da pesquisa está especificada na Figura 9.

Figura 9 – Classificação da pesquisa



Fonte: Produção do próprio autor.

## 1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

A estrutura deste trabalho está definida em mais 3 capítulos. No Capítulo 2 serão explanadas as técnicas e métodos abordados e utilizados nessa pesquisa. No Capítulo 3 será descrito o problema a ser abordado, realizando a aplicação das técnicas escolhidas em busca da solução e coletando os resultados obtidos. No Capítulo 4 estão as conclusões parciais conseguidas e os próximos passos do trabalho, seguidas das referências bibliográficas utilizadas.

## 2 EMBASAMENTO TEÓRICO

Neste capítulo é feita a apresentação dos conceitos e técnicas que serão aplicados ou abordados neste trabalho.

### 2.1 LINHAS DE MONTAGEM

#### 2.1.1 Arranjos Produtivos

Antes de introduzir os conceitos sobre linha de montagem deve-se definir Arranjo Físico e como o conceito de Linha de Montagem se contextualiza neste. Segundo Slack et al. (2002), “arranjo físico é a relevância e preocupação com a disposição física dos recursos produtivos, ou seja, máquinas, equipamentos, material e pessoas”. Stevenson (2002) entende como arranjo físico a “configuração de centros de trabalho, departamentos, equipamentos e instalações, buscando a otimização de movimentos dos elementos aos quais se aplicam o trabalho”.

As opiniões de diversos autores convergem em relação à importância do arranjo físico quando se trata de otimização de tempo, produtividade, recursos e de custos. Vale ressaltar o conceito de que movimentação é um processo que não agrega valor, logo, este deve ser minimizado. O arranjo físico também leva em conta questões ergonômicas e de saúde e segurança para os trabalhadores da operação produtiva em questão.

De acordo com Peinado; Graemi (2007), alterações em arranjos produtivos, provenientes de resultados de estudos sobre o assunto em determinada área produtiva, pode envolver os mais altos níveis da empresa, uma vez que uma movimentação de equipamento/maquinário pode ter custo muito elevado e tempo de parada de produção muito grande. Segundo esses mesmos autores, alguns motivadores a esse tipo de estudo e posteriores alterações são:

- Necessidade de aumento da capacidade produtiva, o qual envolve inclusão ou substituição de maquinário e/ou pessoas.
- Redução de custo operacional, por meio do aumento da produtividade, qualidade ou diminuição de recursos principalmente de movimentação.
- Introdução de novos entrantes, ou seja, produtos diferentes dos já produzidos podem gerar novas necessidades produtivas as quais um estudo e mudança de layout podem suprir.
- Melhoria do ambiente de trabalho, podendo um estudo de posicionamento de bebedouros por exemplo, aumentar a satisfação dos trabalhadores e reduzir o tempo de ausência destes em

seus postos de trabalho, e também evitar passagem por rotas de empilhadeiras, por exemplo, minimizando o risco de acidentes. Outro estudo de arranjo físico comum relacionado à melhoria do ambiente de trabalho e também qualidade é a adequação da iluminação do ambiente produtivo.

Ao se estudar um arranjo físico, novo ou existente, deve-se levar em consideração os seguintes princípios:

- Segurança: Respeitar normas vigentes de segurança quanto a instalações.
- Redução de movimentos: movimentação não agrega valor, consome energia e tempo, logo, é um processo que deve ser evitado ou minimizado.
- Flexibilidade de longo prazo: capacidade de mudança do layout de acordo com a necessidade de produção.
- Progressividade: evitar retrabalhos de movimentação, ou seja, o processo progredir sempre no mesmo sentido.

- Otimização espacial: utilizar o espaço de maneira enxuta.

Segundo Peinado; Graemi (2007), há os seguintes arranjos físicos produtivos:

- Arranjo por produto ou em linha;
- Arranjo por processo ou funcional;
- Arranjo celular;
- Arranjo por posição fixa;
- Arranjo misto.

Destes, o primeiro, arranjo por produto ou em linha, é o mais utilizado pelas montadoras, e é tipo de arranjo do objeto de estudo deste trabalho.

### **2.1.2 Arranjo em Linha**

Em um arranjo produtivo tipo linha de produção, o fluxo de montagens e transformações tem sentido único e não tem caminho alternativo. O produto a ser transformado, montado, ou seja, agregado valor a ele, se move ao longo de estações de trabalho e máquinas de posição fixa, e distribuídas na sequência em que sua operação deve ser realizada, resultando em um arranjo de alta produtividade, mas baixo nível de customização. Uma linha de montagem possui um alto custo inicial, mas baixo custo variável por produto acabado, tendo então um alto nível de alavancagem operacional, conforme observado por Peinado; Graemi (2007).

As principais vantagens do arranjo em linha de produção, ainda de acordo com Peinado;

Graemi (2007) são:

- Possibilidade de grande produtividade: após a linha estar cheia (todas as operações sendo executadas até a saída de produto no final da linha), o tempo de saída entre os produtos é o tempo da maior operação da linha, e não o somatório de operações.
- Carga máquina e consumo de matéria prima constantes ao longo da linha;
- Fácil previsibilidade, controle e programação de produção.

As desvantagens principais são:

- Alto investimento inicial;
- Operações repetitivas dos operadores podem gerar tédio, estresse e lesões por esforço repetitivo, quando não há estudo ergonômico eficiente das operações.
- Flexibilidade limitada;
- Fragilidade a paralisações e lentidão devido à gargalos: qualquer processo da linha que parar irá acarretar em parada total da linha; qualquer etapa que se tornar mais lenta, ou seja, o gargalo da linha, vai determinar o tempo de toda a linha.

### 2.1.3 Indicadores de Linha de Produção

Seguem alguns indicadores que, segundo Peinado e Graemi (2007), podem ser utilizados para qualificar uma linha de produção:

- Tempo de ciclo ou *takt-time*: É o tempo entre peças ou produtos prontos na saída da linha de produção, também pode-se dizer que é o tempo que cada estação de trabalho tem para passar a peça adiante e começar a próxima.
- Capacidade produtiva: é a quantidade de peças que a linha é capaz de produzir diariamente. É a multiplicação entre o *takt-time* (geralmente em minutos) e a quantidade de minutos disponíveis de produção no dia.
- Número de estações de trabalho: é a razão entre o somatório dos tempos individuais das operações pelo *takt-time* desejado.
- Índice de ociosidade: é a porcentagem da razão entre o somatório dos tempos ociosos e o produto do número de estações pelo *takt-time*.
- Grau de utilização: mostra o quão bem estão sendo utilizados mão de obra e equipamentos. Complementa o índice de ociosidade.

### 2.1.4 Balanceamento de Linha de Produção

Segue a sistemática sugerida por Peinado e Graemi (2007) para balancear uma linha de produção:

- 1 - Dividir as operações de trabalho em elementos de trabalho que possam ser executados de modo independente.
- 2 - Levantar o tempo padrão para cada um dos elementos de trabalho, por meio de criteriosa crono-análise.
- 3 - Definir a sequência de tarefas e suas predecessoras.
- 4 - Desenhar o diagrama de precedências.
- 5 - Calcular o tempo de duração do ciclo e determinar o número mínimo de estações de trabalho.
- 6 - Atribuir as tarefas às estações de trabalho seguindo a ordem natural de montagem. A seguinte regra deve ser seguida para determinar as tarefas que podem ser atribuídas a cada estação:
  - a - todas as tarefas precedentes já devem ter sido alocadas;
  - b - o tempo da tarefa a ser alocada não deve ser superior ao tempo que resta para a estação de trabalho;
  - c - quando houver mais de uma tarefa que pode ser alocada, dar preferência à tarefa que tenha maior duração, ou à que esteja mais no início da montagem, ou seja, que tenha mais tarefas subsequentes;
  - d - se ainda houver empate, escolha uma tarefa arbitrariamente.

Quando não houver nenhuma tarefa que possa ser alocada para a estação de trabalho, passar para a estação de trabalho seguinte, até completar toda a linha de produção.

- 7 - Verificar se não existe uma forma melhor de balanceamento, buscando deixar a mesma quantidade de tempos ociosos em cada estação de trabalho.
- 8 - Calcular o percentual de tempo ocioso e o índice de eficiência para a linha de produção.
- 9 - Se todos os passos anteriores tiverem sido seguidos, a única forma de balancear melhor a linha será pela utilização de estações em paralelo para realizar operações elementares demoradas, que não podem ser subdivididas. Duas estações de trabalho paralelas, realizando a mesma operação, são capazes de dobrar a velocidade de produção daquele “elo” do processo produtivo.

## 2.2 MILK RUN

Segundo Moura (2000), *Milk Run* é um método de coletas e entregas programadas. Um meio de transporte faz um itinerário fixo pré-definido de coletas e entregas. Os fornecedores e



clientes desse fluxo devem respeitar os horários e locais pré-definidos para suas entregas e coletas.

Ainda de acordo com Moura (2000), o *Milk Run* visa minimizar custos logísticos reduzindo a quantidade de transportes e reduzindo também tamanhos e necessidades de estoques, intermediários e finais. Tem esse nome pois já era utilizado pelas leiterias, de modo que os produtores deixavam seu produto (leite) em locais e horários pré-definidos e embalados adequadamente. O produto era retirado nos locais e horários pré-programados (Moura, 2000). Segundo Mazzali e Milan (2006), o sucesso do sistema *Milk Run* se dá em função da integração entre as partes envolvidas, e logo, da natureza do negócio.

### 2.3 SIMULAÇÃO A EVENTOS DISCRETOS

“Um modelo de simulação de um sistema é a construção e representação simplificada das diversas interações entre as partes deste sistema, é uma abstração da realidade, aproximando-se do verdadeiro comportamento do sistema” (CHWIF; MEDINA, 2010).

A SED computadorizada permite emular sistemas reais visando avaliar o desempenho destes, permitindo apontar falhas e/ou ineficiências e propor melhorias. Na SED, comprime-se o tempo dos eventos mantendo sua proporção, de modo a verificar em curtos períodos a resposta do sistema real, a qual poderia levar dias, meses ou anos. São utilizados modelos estatísticos para gerar as variações que ocorrem normalmente durante esses eventos.

Um padrão comportamental aleatório, comum a cada variável, é adicionado às entidades criadas para simulação, as quais são roteirizadas até um destino final durante o processo, e por todo esse percurso processamentos são testados e comandados através de condicionantes (*if-then-else*) aos quais também estão sujeitos no sistema real. O processamento das entidades é complementado por recursos conforme a demanda do sistema simulado.

Durante a simulação, são coletados dados de estatísticas pertinentes ao estudo realizado, e estes dados são sumarizados ao final da simulação, podendo ser disponibilizados de maneira gráfica, textual e/ou numérica. Tais informações são utilizadas para comparar com outras simulações de cenários alternativos.

A Simulação a Eventos Discretos (*Discrete Event Simulation, DES*) é uma ferramenta largamente utilizada para propor alterações de cenários, respostas de sistemas existentes a perturbações reais ou hipotéticas, otimização de recursos e tempos em linhas de produção, entre diversas outras aplicações, desde que sejam modeláveis matematicamente.

Segundo Jamil e Razali (2016), a simulação é definida como uma poderosa ferramenta para a análise de novos projetos de sistemas, *retrofit* de sistemas existentes e propõe mudanças nas regras de operação. Já Chwif e Medina (2010) defendem que a simulação é melhor aplicável para sistemas complexos, dinâmicos e com aleatoriedades.

Segundo Banks et al. (2009), e secundado por Miranda (2015), a simulação possui vantagens e desvantagens:

(a) VANTAGENS

- Definições de layouts, projetos de equipamentos e sistemas de transportes podem ser testados com auxílio da SED, sem a necessidade de recursos ou compra de equipamentos;
- A SED permite visualizar as interações entre variáveis e a importância de seus efeitos para o sistema como um todo;
- Gargalos produtivos podem ser identificados e analisados;
- A SED permite localizar onde o estoque em processo e materiais que estão em excesso se encontram no sistema;
- A SED facilita a compreensão de como opera todo o sistema simulado, ao invés de apenas visualizar como operam suas partes;
- A SED permite responder questões do tipo “What if”, o que é útil na proposição de novos sistemas.

(b) DESVANTAGENS

- A modelagem computacional de um sistema real por um modelo de SED, geralmente é cara e consome tempo para ser desenvolvida;
- É necessário, por parte do modelador ou analista de simulação, que este seja treinado em um simulador ou que conheça alguma linguagem de programação;
- Os resultados alcançados com o modelo de simulação podem ser difíceis de serem interpretados, principalmente devido a seu caráter estocástico;
- Existe a necessidade que o modelo computacional seja validado, caso contrário, as informações que forem provenientes deste não terão usabilidade;
- Cada rodada de um modelo de simulação produz apenas estimativas de uma dada saída do modelo. Dessa forma, serão necessárias várias replicações para cada conjunto de parâmetros, de modo que os resultados possam ser interpretados corretamente;
- A simulação pode ser utilizada de forma equivocada, quando uma solução analítica para um dado problema é possível ou até mesmo preferível.

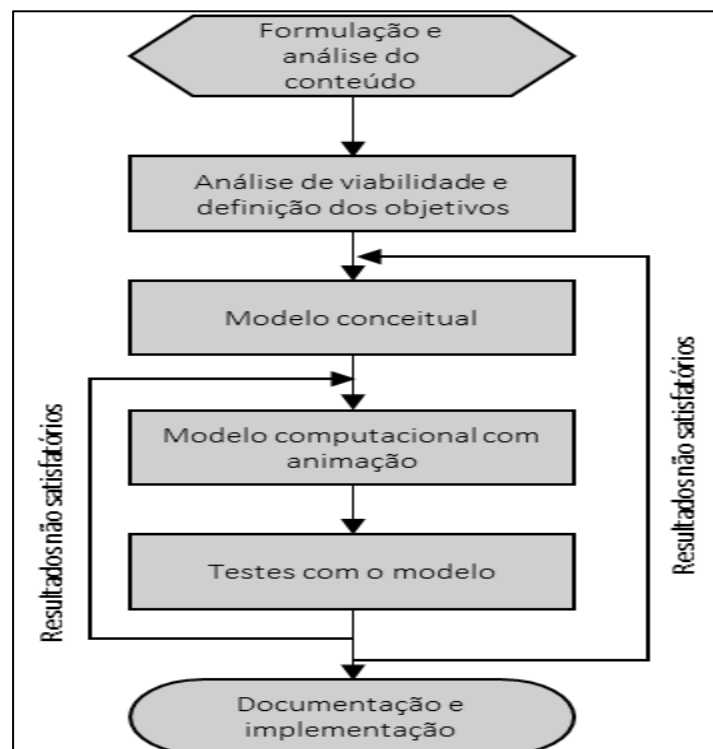
As etapas de uma simulação podem ser vistas de acordo com o modelo apresentado por

Chwif e Medina (2010) de forma mais simplificada, tendo as etapas:

- a) Concepção ou formulação do modelo;
- b) Implementação do modelo;
- c) Análise dos resultados do modelo.

Sendo assim, pode-se relacionar com as etapas de uma forma mais estratificada, conforme o modelo de Banks et.al (2004), apresentado na Figura 10. Na concepção do modelo a ser simulado, o entendimento do processo é fundamental por parte do analista, de modo que a tradução para o modelo conceitual seja precisa e de claro entendimento por todas as partes envolvidas.

Figura 10 – Etapas de formulação do modelo, implementação, verificação e análise dos resultados

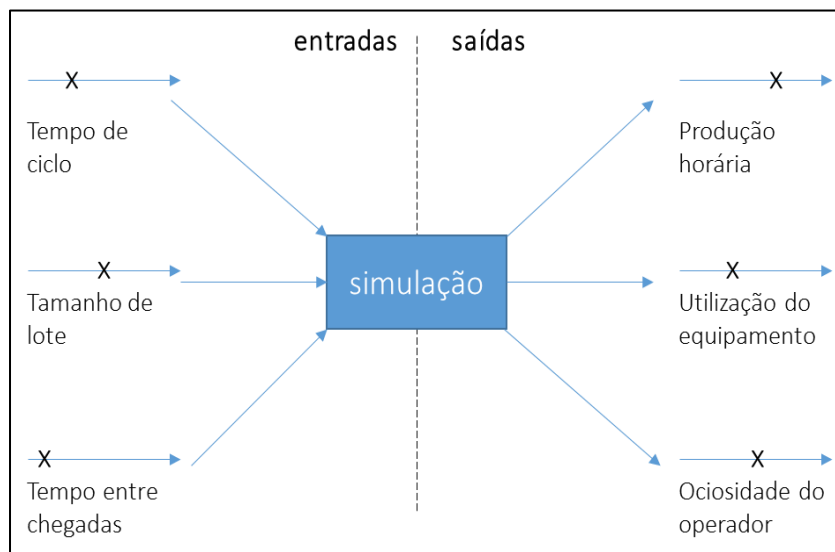


Fonte: adaptado de Banks et.al (2004)

Na etapa de concepção são coletados e tratados os dados de entrada, sendo estes em sua maioria fenômenos aleatórios, os quais, nestes casos, após tratativas estatísticas e matemáticas são representados pela distribuição probabilística que mais se adequa à cada coleção de dados. A simulação, ou seja, o processamento matemático que representa o sistema simulado, não altera a natureza dos dados de entrada, mantendo essa mesma natureza para a saída.

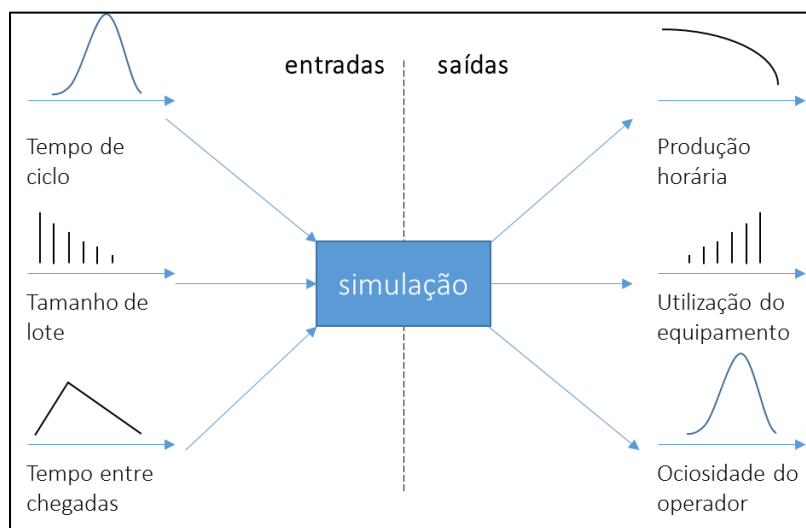
Nelson e Yamnitsky (1998) já apontavam um grande número de pacotes de software para dar suporte na modelagem de dados de entrada, como o ExpertFit, o Arena Input Processor, Stat:Fit e BestFit. Segundo Kelton (1995), dados de entrada determinísticos resultam em saídas determinísticas, conforme ilustrado pela Figura 11. Da mesma forma, dados de entrada estocásticos, ou como citado, eventos aleatórios, resultam em saídas ou respostas estocásticas da simulação, como mostrado na Figura 12.

Figura 11 – Entrada de valores determinísticos gerando resultados determinísticos



Fonte: adaptado de Kelton (1995)

Figura 12 – Entrada de valores estocásticos gerando resultados estocásticos



Fonte: adaptado de Kelton (1995)

### 2.3.1 Validação da Simulação

Segundo Chwif e Medina (2010), a validação conceitual vai responder:

- Se o desenvolvimento do modelo está fiel ao sistema real ou na direção correta;
- Se é necessário incluir considerações ou detalhes ou se os já utilizados são suficientes.

Uma maneira de validar o modelo é aplicar dados de entrada para o qual já se conheça a saída, de modo a comparar os resultados simulados com os resultados reais, e calcular o erro entre tais valores.

Um modelo reduzido também pode ser utilizado, de modo que medições de saídas para comparações com as simulações sejam mais fáceis de se obter.

Segundo Chwif e Medina (2010), a maioria dos sistemas que procuramos modelar por meio da simulação possuem algum fenômeno aleatório que o governa. Estes autores chamam de modelos de entrada os modelos probabilísticos responsáveis por representar a natureza aleatória de um certo fenômeno.

Os dados a serem utilizados na simulação têm as funções básicas de construção e validação do modelo por experimentação. Pensando sempre na máxima GIGO (*Garbage In, Garbage Out*), que significa que, por mais fiel que esteja o modelo, se alimentado com dados de entrada ruins, a saída será ruim também, é importante usar dados diferentes para criar e validar o modelo.

Chwif e Medina (2010) citam que existem várias técnicas para validar o modelo de simulação:

- Desenvolvimento paralelo do modelo por dois times separadamente;
- Comparação com um modelo reduzido ou modelagens passadas;
- Elencar parâmetros de entrada quanto à criticidade, por meio de análise de sensibilidade da variação da saída em função da entrada.
- Verificação do modelo junto ao(s) especialista(s) do processo.

Após verificação e validação do modelo de simulação bem-sucedidos, este pode considerado operacional. Vale observar que, as variações de saída são função da aleatoriedade das entradas que variam a cada replicação.

Devido às variações na saída em função da aleatoriedade das entradas, é arriscado e possivelmente indutor de erro, concluir algo a partir de uma execução única da simulação. Quanto mais replicações se realizar, menor a chance de um erro na saída, maior a convergência dos resultados para uma distribuição conhecida.

Chwif e Medina (2010) destacam a importância da diferenciação entre rodada e

replicação da simulação. Cada rodada é um experimento, que pode ter várias replicações e replicação é uma repetição da simulação, com as mesmas configurações e parâmetros, mas com uma geração de números aleatórios diferentes. Ou seja, quando mais replicações tiver a sua rodada, mais fiel ela será ao sistema real, e para testar outras possibilidades e configurações, inicia-se uma nova rodada.

O resultado da simulação leva em consideração o tamanho da amostra obtida (precisão) e o quanto dessa amostra que está no intervalo que contém a média populacional, com uma probabilidade definida (confiança estatística). Logo, para aumentar a precisão, em um processo de simulação, (considerando que houve uma boa execução nas etapas de modelagem) basta aumentar o número de replicações, de acordo com a precisão necessária/desejada pelo realizador da modelagem.

Para Chwif e Medina (2010), quando a precisão desejada ainda não for obtida deve-se usar a equação (1):

$$n = n_{utilizado} \left( \frac{h_{obtido}}{h_{desejado}} \right)^2 \quad (1)$$

sendo  $n$  o número de replicações e  $h$  metade do intervalo de precisão.

Por sua vez, o intervalo de confiança pode ser calculado pelas equações (2) e (3):

$$P(\bar{x} - h \leq \mu \leq \bar{x} + h) = 1 - \alpha \quad (2)$$

$$\bar{x} \pm t_{n-1, \alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

sendo que  $\bar{x}$  é a média da amostra;  $h = t_{n-1, \alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}}$  é a metade do tamanho do intervalo, denominado de precisão;  $t_{n-1, \alpha/2}$  é o  $(1-\alpha/2)$  percentil da distribuição t de Student com  $n-1$  graus de liberdade;  $s$  é o desvio padrão da amostra e  $n$  é o número de dados da amostra.

O processo de entrada de dados pode ser representado por uma sequência de variáveis aleatórias independentes que podem ser aproximadas por um modelo probabilístico conhecido: Normal, Beta, Erlang, Exponencial (distribuição típica para modelagem de filas), Gama, Lognormal, Poisson, Triangular, Uniforme e Weibull. Deve-se aplicar um teste de aderência para a determinação da melhor aproximação.

Ainda segundo Chwif e Medina (2010), a modelagem de dados pode ser resumida em 3 etapas:

- Coleta de Dados: processo de amostragem de dados que representem toda a população; tem como objetivo garantir que a amostra seja a mais representativa possível do fenômeno.
- Tratamento de Dados: são utilizadas técnicas para descrever os dados levantados, identificar as possíveis falhas nos valores amostrados e aumentar o conhecimento acerca do fenômeno estudado.
- Inferência: aplicar os conhecimentos de Cálculo de Probabilidades para inferir qual o comportamento da população a partir da amostra.

Após as etapas acima, é realizada a etapa de teste de aderência, na qual verifica-se se a distribuição é estatisticamente adequada para representar os dados de entrada. São os chamados testes de hipóteses, nos quais testa-se a aderência (hipótese nula  $H_0$ ):

$H_0$  – o modelo é adequado para representar a distribuição da população.

Em confronto com a hipótese alternativa:

$H_1$  – o modelo não é adequado para representar a distribuição da população.

Se a um dado nível de significância  $\alpha$  rejeita-se  $H_0$ , o modelo não é adequado para representar a distribuição da população. O nível de significância  $\alpha$  equivale à probabilidade de rejeitarmos a hipótese nula  $H_0$ , dado que ela está correta, o que é conhecido como erro “Tipo I”.

### 2.3.2 Testes estatísticos não paramétricos e uso na validação da simulação

São considerados testes não paramétricos os que não necessitam ter especificada distribuição da população de onde saiu a amostra. Estes métodos usam procedimentos os quais se aplicam independentemente da distribuição da população, exigindo em alguns casos hipóteses quanto à simetria ou continuidade da distribuição.

Alguns destes métodos podem ser aplicados a dados qualitativos, e também para amostras muito pequenas, para as quais se torna difícil conhecer a distribuição associada à população, como é o caso do Teste U de Mann – Whitney. Neste teste comparam-se as medianas de duas populações diferentes, cujas amostras não são necessariamente do mesmo tamanho, são iguais:

Hipóteses em teste:

$$H_0: \mu_X = \mu_Y ;$$

$$H_1: \mu_X \neq \mu_Y$$

Ou unilateralmente:

$$H_1 : \mu_X < \mu_Y \text{ ou } H_1 : \mu_X > \mu_Y$$

Cria-se a partir das duas amostras uma amostra combinada, na qual se tem identificada a origem de cada elemento da nova amostra. Colocam-se os elementos da amostra combinada em ordem observando-se as posições (*ranks*) ocupadas pelos elementos das amostras originais  $X$  e  $Y$ . Se esses elementos  $X$  e  $Y$  ficam aleatoriamente distribuídos, o resultado é favorável a  $H_0$ , pois a mediana da população subjacente à amostra combinada é igual às medianas  $\mu_X$  e  $\mu_Y$ . Caso contrário rejeita-se  $H_0$ .

Este teste é simples e de fácil execução, e pode indicar se a amostra da simulação e a amostra do sistema real ou o similar (usado para validação) são estatisticamente iguais, sem se importar com a distribuição que melhor as descreve.

## 2.4 TÉCNICAS DE MAPEAMENTO DE PROCESSO

### 2.4.1 Introdução e Definição de Processo

Pode-se entender como Gestão de Processos o conjunto de métodos desenvolvido para entender uma organização baseado em seus processos centrais. Sistematizar a análise e o delineamento, otimizar processos e seu gerenciamento. A utilização de programas de computador permite o gerenciamento e medição dos fluxos de processo ou interação entre tarefas, otimizando a relação custo x produtividade. (PAIM, 2009)

De acordo com Herrington (1997), uma ação ou atividade que altera e/ou transforma uma entrada em uma saída diferente com valor agregado, podendo ser esta valorização tanto do ponto de vista do cliente direto ou indireto, interno ou externo, com geração de resultados reais por meio do uso de recursos organizacionais, pode ser considerado um processo.

Segundo Garvin (1998), um grupo de elementos que guia para começo e fim de um trabalho pode ser considerado um processo. É um conjunto de ações pré-determinado que, executado na ordem correta, leva a um retorno desejado de acordo com as expectativas pré-estabelecidas dos clientes e/ou “*stakeholders*”

Ainda explorando o conceito de processo, Soliman (1999) cita um processo como um integrador de pessoas, métodos e ferramentas na execução de uma sequência de ações, com o intuito definido de tornar entradas específicas em saídas específicas.

Pode-se entender que há uma consonância entre os autores citados quanto ao conceito de processo, com a diferença, ou pode-se considerar, flexibilidade, de considerar o processo uma atividade isolada ou um conjunto de atividades. Tal flexibilidade é muito útil durante a



modelagem de processos para qualquer fim, podendo tornar o modelo mais detalhista ou generalista, de acordo com o nível de observação que se quer ter do processo ou de uma cadeia de processos, como por exemplo uma linha de produção ou uma cadeia logística.

#### 2.4.2 Mapeamento de Processos

Segundo Cheung e Bal (1998) o mapeamento de processos é o principal recurso para o gerenciamento por processos, que consiste em diagramar um processo graficamente, dividindo-o em atividades representadas no diagrama na ordem em que ocorrem. Essa representação deve conter os detalhes do processo de maneira controlada e gradual, e com foco nas interfaces do processo.

“O mapeamento de processos é uma ferramenta gerencial analítica e de comunicação que têm a intenção de ajudar a melhorar os processos existentes ou de implantar uma nova estrutura voltada para processos. Para comparar as situações atual e desejada, de forma a gerar tensão estrutural que impulsionará a mudança organizacional, torna-se necessário mapear a organização como ela é. A partir disso, identifica-se qual é o problema do processo para modelar como ela deverá ser e apresentar um mapa de “Como” o problema será resolvido ou da implantação do novo processo” (HUNT, 1996)

Com o mapeamento dos processos de maneira padronizada, pode-se:

- Ajudar a entender não somente o processo isoladamente, mas o fluxo;
- Ajudar a identificar mais do que as perdas, as fontes de perda;
- Fornecer uma linguagem comum para tratar os processos;
- Tomar decisões do fluxo visível de forma que possam ser discutidos por todos;
- Unificar conceitos e técnicas enxutas;
- Formar a base de um plano de implementação;
- Descrever como a cadeia produtiva deve operar.

Biazzo (2000) sugere que a sequência adotada no mapeamento é sempre a mesma, independentemente da técnica representativa utilizada a qual segue abaixo:

1. Delimitar fronteiras, clientes, entradas e saídas e agentes envolvidos no fluxo de trabalho.
2. Aquisição de dados com os responsáveis pelas atividades do processo e estudo da documentação existente.
3. Criação do modelo baseado nas informações coletadas e posterior revisão do modelo seguindo o ciclo “*author-reader*”, podendo ser o “*reader*” participantes ativos do processo ou

quem apenas irá utilizar o modelo.

“Existem várias técnicas para mapeamento de processos, como, por exemplo, o Fluxograma (*Flowchart*), BPMN (*Business Process Modeling Notation*), UML (*Unified Modeling Language*), EPC (*Event-Driven Process Chain*), IDEF (*Integrated DEFinition*)” (VALLE e OLIVEIRA, 2009).

De acordo com Aguilar-Savén (2004), pode-se entender por fluxograma, como sendo uma representação gráfica padronizada de uma sequência lógica, processo, trabalho, programa, ou qualquer atividade sequencial estruturada. A facilidade e flexibilidade desse método é seu grande atrativo.

Segundo Valle e Oliveira (2009) o BPMN é um modelo altamente completo e promissor, que apesar de possuir vários elementos de modelagem, os quatro mais usuais (eventos, sequências de fluxo, atividades e decisões) são suficientes para representar a maioria dos processos em diversas áreas, facilitando a implementação do método.

O UML é uma linguagem de representação gráfica desenvolvida para representar programas orientados a objeto, diferenciando muito bem os requisitos quando à sua funcionalidade ou ausência dela. O UML também é muito eficaz para modelagem de processos de negócio ainda no estágio de análise (VALLE; OLIVEIRA, 2009).

O IDEF, ou ICAM DEFinition Language, é uma metodologia desenvolvida pelo ICAM (Integrated Computer-Aided Manufacturing), da Força Aérea dos EUA, na década de 1980 para a CIM (Manufatura Integrada por Computador) (CHENG-LEONG et al., 1999). De acordo com Valle e Oliveira (2009) o IDEF modela um sistema fielmente, com possibilidade de projeção de otimização. A família de técnicas de mapeamento IDEF possui várias técnicas com funcionalidades e aplicabilidades diferentes, conforme exposto no Quadro 2.

Quadro 2 - Funcionalidades e aplicabilidades do IDEF

Projeto	Linguagem	Propósito
1ª geração (Projeto Original ICAM)	IDEF0	Modelagem de função (atividade)
	IDEF1	Modelagem de informação
	IDEF2	Modelagem de simulação
2ª geração (Projeto de Sistema de Suporte à informação Integrada da USAF)	IDEF1x	Modelagem de dados
3ª geração (Suporte à Informação Integrada da USAF para projetos concorrentes de Engenharia)	IDEF3	Modelagem de comportamento (Captura de descrição de processo)
	IDEF4	Design orientado a objeto
	IDEF4++	Design orientado a objeto em C++
	IDEF5	captura de descrição de ontologia
Em desenvolvimento	IDEF6	captura de justificativa de projeto
	IDEF8	design de interação homem-sistema
	IDEF9	identificar/descobrir restrições de negócios
	IDEF14	design de redes
Previsto	IDEF7	Auditoria de sistemas de informação
	IDEF10	Modelagem de implementação de arquitetura
	IDEF11	modelagem de artefatos de informação
	IDEF12	método de design organizacional
	IDEF13	Método de design de arquitetura 3-schema

Fonte: Adaptado de Leal, Almeida e Montevechi (2008)





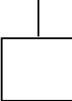



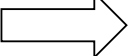
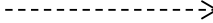
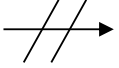


### 2.4.3 Técnica de modelagem IDEF-SIM

A técnica de modelagem IDEF-SIM foi sugerida por Leal, Almeida e Montevechi (2008) uma técnica de modelagem baseada nas técnicas IDEF0, IDEF3 e BPM, ver elementos importantes no Quadro 3, tendo como característica mais latente a identidade lógica de aplicação, com propósito de ser utilizada para modelar sistemas a serem simulados via

software.

Possui dentre suas principais vantagens: diminuição no tempo de modelagem computacional, auxiliar na etapa validação do modelo conceitual facilitando o entendimento do modelo por parte dos especialistas e facilitando o diálogo especialista – programador, facilitar o registro e documentação dos projetos de simulação, sem se ater a nenhuma linguagem de programação específica, permitindo maior entendimento por parte de outros leitores do projeto.

Quadro 3 – Simbologia utilizada na técnica IDEF-SIM

Elementos	Simbologia	Técnica de origem
Entidade		IDEF3 (modo descrição das transições)
Funções		IDEF0
Fluxo de Entidade		IDEF0 e IDEF3
Recursos		
Controles		IDEF0
Regras para fluxos paralelos e/ou alternativos	 &	Regra E
	 X	Regra OU
	 O	Regra E/OU
Movimentação		fluxograma
Informação Explicativa		IDEF0 e IDEF3
Fluxo de entrada no sistema modelado		
Ponto final do sistema		
Conexão com outra figura		

Fonte: Adaptado de Leal, Almeida e Montevechi (2008)

Seguem as definições de Mendonça (2013) das funções dos elementos descritos no Quadro 3:

- a) Entidade: Itens a serem processados pelo sistema, representando matéria-prima, produtos, pessoas, documentos, entre outros;
- b) Funções: Locais na qual a entidade sofrerá alguma ação. Entendem-se como funções os postos de trabalho, esteiras de movimentação, filas e estoques e postos de atendimento;
- c) Fluxo da entidade: Direcionamento da entidade dentro do modelo;
- d) Recursos: Elementos utilizados para movimentar as entidades e executar as funções. Os recursos podem representar pessoas ou equipamentos;
- e) Controles: Regras utilizadas nas funções, como sequenciamento, regras de filas, programações, entre outros;
- f) Regras para fluxos paralelos e/ou alternativos: Estas regras são chamadas de junções, na técnica IDEF3;
- g) Movimentação: Deslocamento de entidade, no qual o modelador acredita possuir efeito importante sobre o modelo;
- h) Informação explicativa: Utilizada para inserir uma explicação no modelo, com o objetivo de facilitar o entendimento do modelo;
- i) Fluxo de entrada no sistema modelado: Define a entrada ou criação das entidades dentro do modelo;
- j) Ponto final do sistema: Define o final de um caminho dentro do fluxo modelado. Tudo o que se encontra além deste ponto está fora dos limites do modelo;
- k) Conexão com outra figura: Utilizado para dividir o modelo em figuras diferentes.

### 3 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA E MODELAGEM

#### 3.1 A EMPRESA OBJETO DO ESTUDO

A empresa objeto de estudo faz parte de um grupo que atua no setor metal mecânico há 70 anos, e que hoje está dividido em 3 empresas, as quais se distinguem pela área de atuação: rodas rodoviárias e agrícolas, componentes estruturais, sendo esta o objeto de estudo deste trabalho, e equipamentos ferroviários, sendo esta terceira uma *joint venture* com um grupo norte americano.

Esta empresa de componentes estruturais possui unidades em 4 países e conta com um total de aproximadamente 7.000 colaboradores. Dentre os processos principais de transformação com os quais esta empresa trabalha, e possui *know-how* estão a estampagem, solda (manual e robotizada), rebitagem à frio, recorte a laser, recorte a plasma e pintura.

O objeto de estudo será uma linha de montagem de chassis de pick-ups recém implementada na Argentina, dentro da fábrica da montadora cliente. Esta linha receberá peças estampadas vindas das unidades fabris do Brasil e da Argentina.

#### 3.2 PROBLEMA A SER TRATADO

Descreve-se na sequência as características do problema a ser tratado.

##### 3.2.1 Considerações iniciais

Segundo Maciel (2016), é imprescindível a um trabalho de simulação uma análise preliminar, de modo a avaliar quais aspectos do sistema são relevantes e tem impacto na avaliação que se quer fazer, e à partir desse critério colocar ou não tal aspecto no modelo simulado.

Deve-se manter também, cuidado em relação ao nível de detalhamento adotado, de modo a não comprometer a qualidade da simulação em relação ao sistema real, mas por outro lado, evitar detalhes desnecessários os quais tornam o modelo complexo em demasia, aumentando inclusive, o tempo computacional para obtenção da simulação e/ou otimização via simulação.

### 3.2.2 Descrição do objeto de estudo e modelagem conceitual

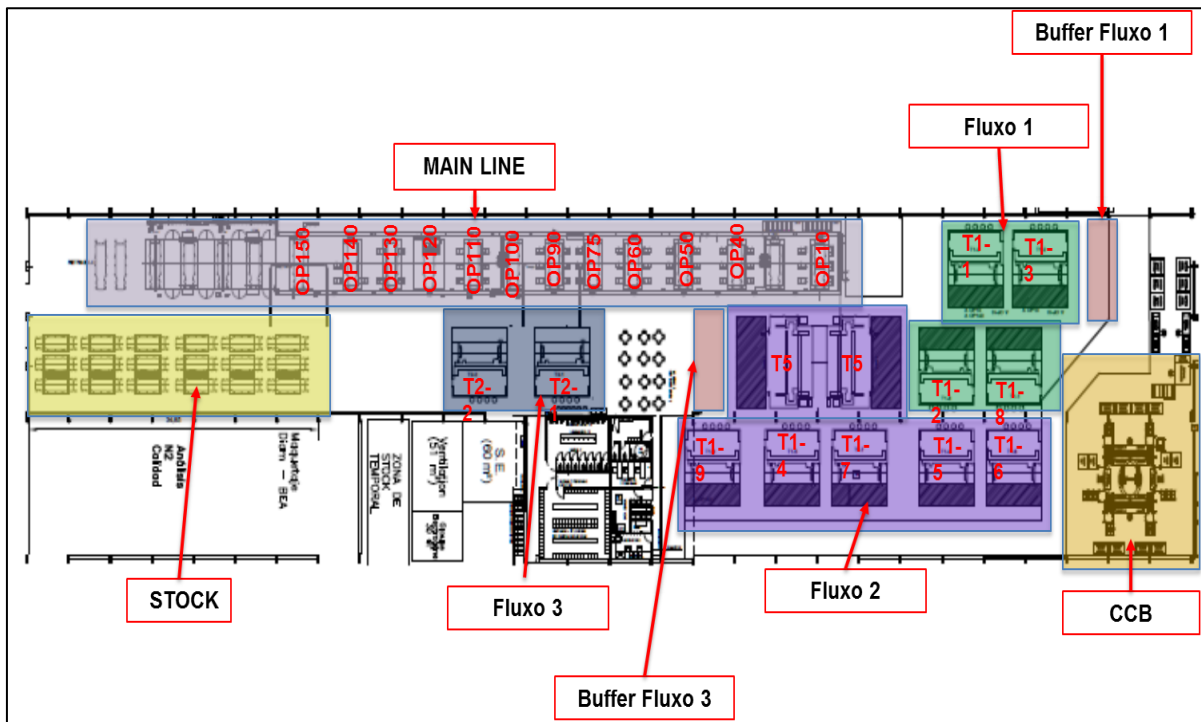
O arranjo intralogístico estudado consiste no abastecimento de uma linha de montagem de chassis, a qual é abastecida por vários componentes (ou peças estampadas), estes por sua vez, são oriundos das estações do trabalho de solda de subconjuntos (identificadas como T's nos modelos) e divididos em três tipos: longarinas, travessas e suportes.

Há também pequenas peças as quais estão espalhadas entre as estações do trabalho. As peças estampadas vêm de um estoque central que não é objeto de estudo deste trabalho, mas a partir dele se inicia a rota logística estudada. Logo, o estoque central delimita a fronteira de entrada do sistema a ser estudado. A fronteira de saída é a própria linha de montagem, que possui um *takt-time* pré-definido em contrato. O objetivo desse arranjo intralogístico é atender esse *takt-time* sem riscos de parada de linha ou desperdício e/ou ociosidade de recursos logísticos.

Há um total de 13 estações do trabalho robotizadas nas quais as peças estampadas sofrem transformação por solda robotizada MIG, e depois vão para a linha de montagem. Há um total de 238 diferentes peças estampadas, que são os *inputs* dos processos de solda robotizada, e 49 subconjuntos, que são os *outputs* do processo de solda robotizada. A um caso em que o *input* da estação do trabalho de solda robotizada é o *output* de uma outra estação do trabalho robotizada.

As peças se movimentam ao longo do processo segundo 3 rotas logísticas, conforme Figura 13, e descritas sucintamente na sequência.

Figura 13. Planta baixa da linha de montagem e identificação dos objetos relevantes



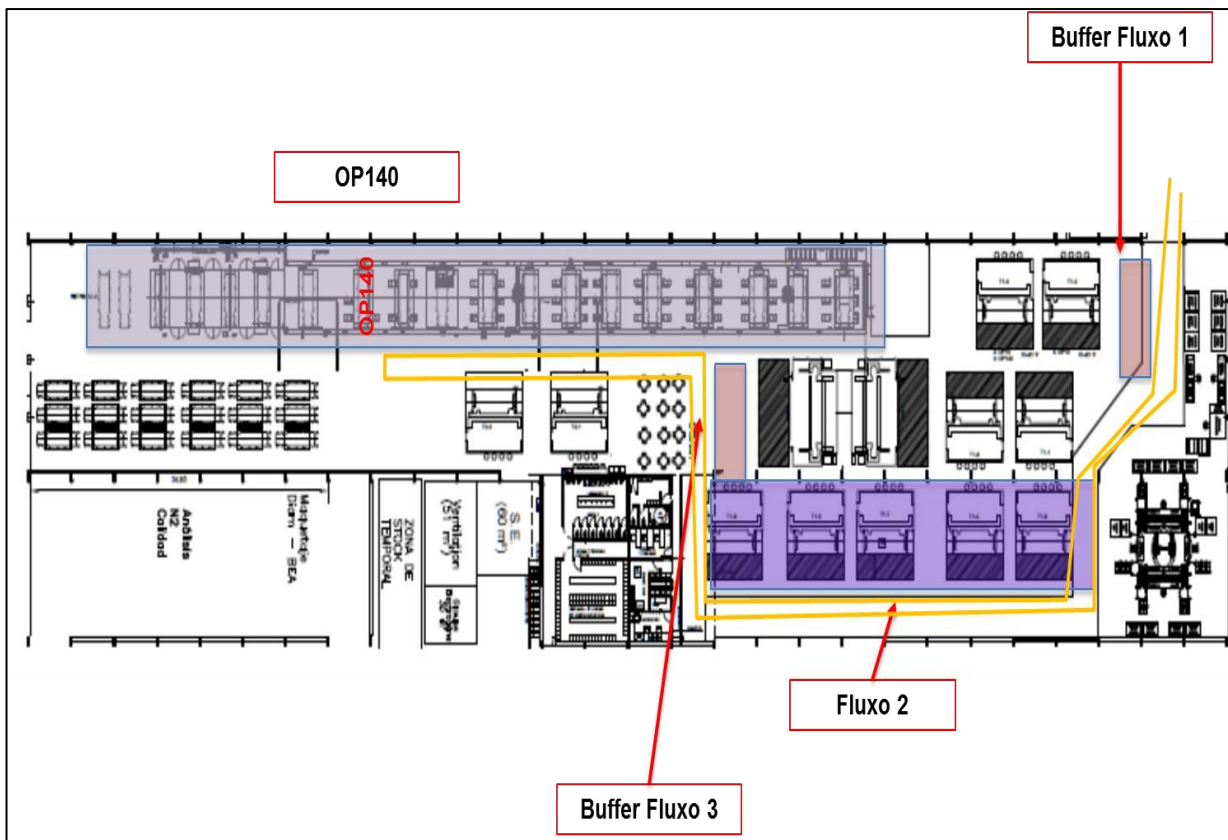
Fonte: Empresa estudada (2018).

Descrição das rotas logísticas a serem simuladas:

- Rota Logística 1, ou Fluxo Principal, que diz respeito a um comboio ou *milk run* de carrinhos com as peças estampadas e subconjuntos. O percurso inicia-se no estoque central, abastece o *buffer* do fluxo1, depois abastece o fluxo 2, retira subconjuntos do fluxo 2, abastece o *buffer* do fluxo 3, entrega os subconjuntos do fluxo 2 na linha de montagem, na operação OP140 e retorna para o estoque central.



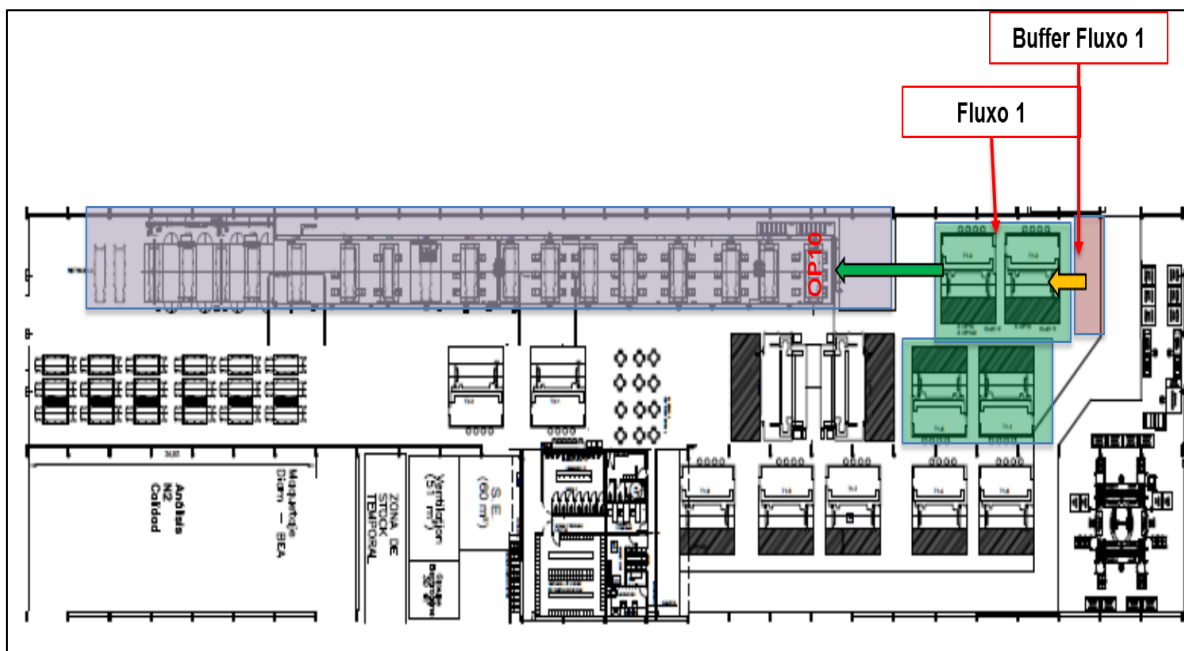
Figura 14. – Trajeto realizado pela Rola Logística 1



Fonte: Empresa estudada (2018).

- Rota Logística 2, ou Fluxo 1. O percurso inicia-se com a retirada de peças do *buffer* do Fluxo 1, transforma as peças estampadas em subconjuntos nas estações do trabalho T1\_1, T1\_2, T1\_3 e T1\_8, e abastece a linha de montagem na operação OP10.

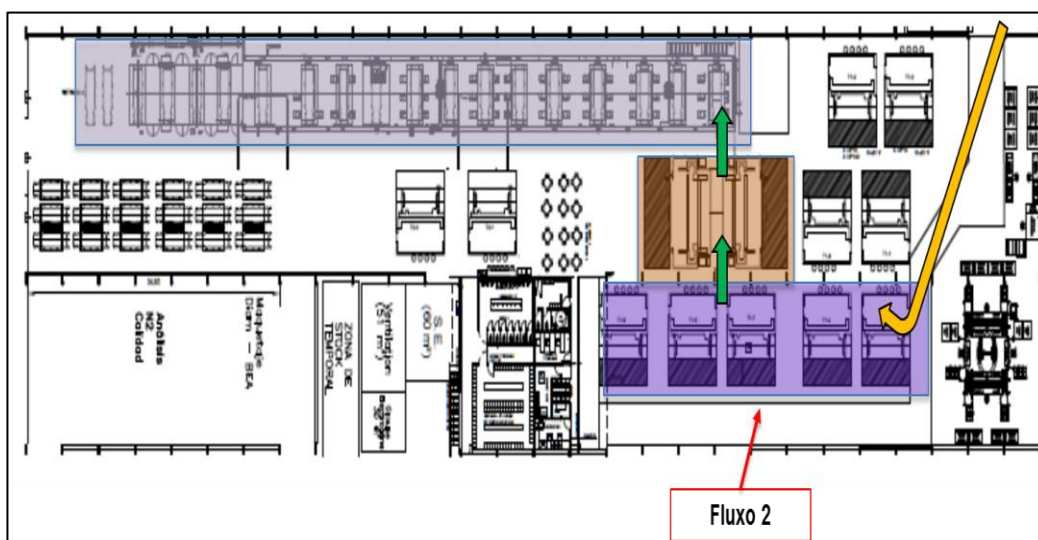
Figura 15. - Trajeto realizado pela Rota Logística 2



Fonte: Empresa estudada (2018).

- Rota Logística 3 ou Fluxo 2. Inicia-se recebendo peças estampadas da Rota Principal, transforma essas peças estampadas em subconjuntos nas estações do trabalho T1\_4, T1\_5, T1\_6, T1\_7 e T1\_9, que abastecem diretamente as estações do trabalho T5. As estações do trabalho T5 recebem subconjuntos e abastecem a linha de montagem na OP10 com subconjuntos.

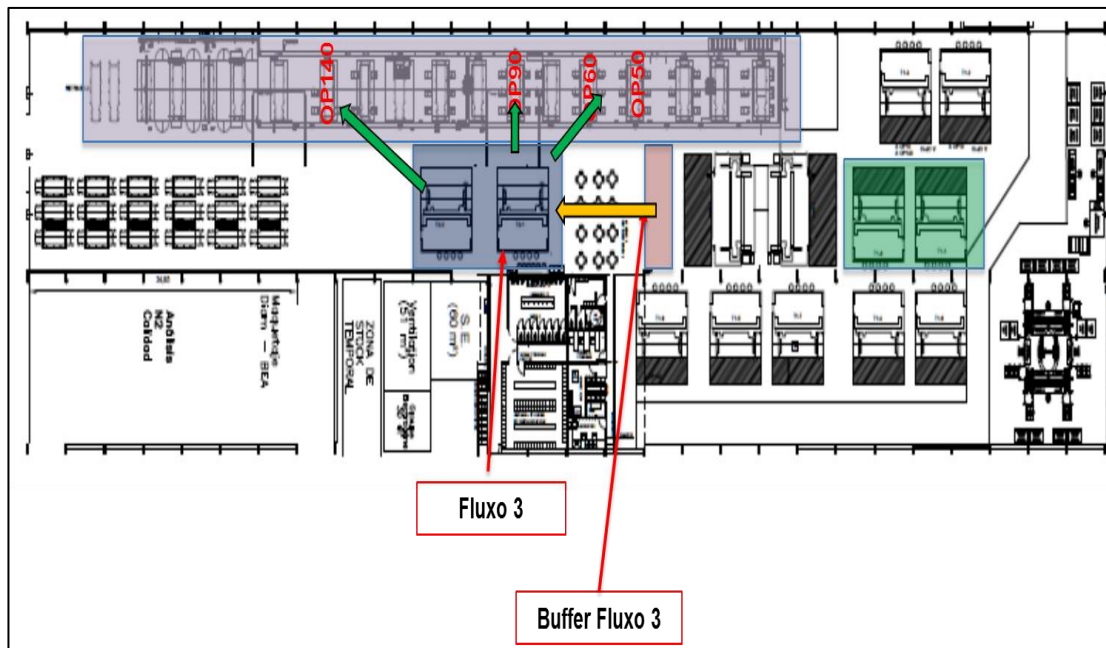
Figura 16. Trajeto realizado pela Rota Logística 3



Fonte: Empresa estudada (2018).

- Rota Logística 4, ou Fluxo 3. Inicia-se retirando peças do *buffer* do Fluxo 3, transforma as peças nas estações do trabalho T2\_1 e T2\_2 e abastece a linha de montagem nas OP's 50, 60, 90 e 140.

Figura 17. Trajeto realizado pela Rota Logística 4



Fonte: Empresa estudada (2018).

As movimentações entre os fluxos são realizadas por meio de carrinhos de movimentação no Fluxo Principal, e por carrinhos talhas e varais inclinados nos fluxos menores (fluxo 1, fluxo 2 e fluxo 3).

Este conjunto de operações intra-logísticas é executado por dois operadores, chamados Oper1 e Oper2, e as movimentações de desabastecimento das estações do trabalho que ficam próximas à linha de montagem são realizadas pelos próprios soldadores dos dispositivos, que vão pegando os subconjuntos prontos conforme necessidade.

O *milk-run* passa inicia seu trajeto à cada 1h. Todos os outros fluxos estão vinculados ao tempo de ciclo das estações do trabalho e capacidades dos transportes. A Tabela 1 resume os ciclos de operação das estações do trabalho robotizadas, com tempo de ciclo, origem dos *inputs* e destino dos *outputs*, tipos de peças com que trabalham e qual operador faz essas movimentações.

Tabela 1 – Descrição esquemática dos fluxos logísticos envolvidos no sistema a ser modelado

rota logística	Estação do trabalho	Tempo Ciclo [s]	ciclos para transporte	operador	PEÇAS	RECEBE DE	ENTREGA PARA
fluxo 1	T1_1	171,64	18	OPER1	TRAVESSAS + PEÇAS PEQUENAS	BUFFER FLUXO 1	OP10
	T1_2	173,26	18				OP10
	T1_3	179,22	36				OP10, OP50, OP140, T5LE e T5LD
	T1_8	170,57	18				OP10
fluxo 2	T1_9	175,31	18	OPER2	LONGARINAS + PEÇAS PEQUENAS	FLUXO PRINCIPAL	T1_5
	T1_5	170,82	18			T1_9 e T1_7	T5_LE
	T1_7	170,17	36			FLUXO PRINCIPAL	T1_5 e T1_4
	T1_4	140,54	18			T1_6 e T1_4	T5_LD
	T1_6	175,31	18			FLUXO PRINCIPAL	T1_4
	T5 LE	170	18			T1_4, T1_5 e T1_6	OP10
	T5 LD	170	180				OP10
fluxo 3	T2_1	183,13	36	OPER1	SUPORTES + PEÇAS PEQUENAS	BUFFER FLUXO3	OP5, OP50, OP60 e OP90
	T2_2	179,59	36			FLUXO3	OP50, OP60 e OP90

Fonte: Empresa estudada (2018).

### 3.3 MODELAGEM PELO IDEF-SIM

Não há na literatura, casos de uso da técnica IDEF-SIM para modelar sistemas intralogísticos dessa complexidade. Partindo dessa informação, foram adotadas algumas premissas e abstrações, totalmente pertinentes a um modelo conceitual, de modo a torná-lo transponível para o modelo computacional. São elas:

- Modelos orientados aos objetos, no caso, às entidades, sendo cada linha do modelo referente a um tipo de entidade final (Travessas, Longarinas e Suportes). Os diferentes tipos de entidades não se combinam ou interagem, exceto na linha final de montagem, a qual está além da fronteira do objeto de estudo.

- Modelo inicial sem restrições, as quais serão definidas e incluídas após entendimento junto à equipe da empresa, em função do modelo teórico de dimensionamento da linha.

- Utilizou-se como recurso a função “espera”, que indica que para aquela entidade não há ação relevante, mas o operador responsável pela próxima ação está realizando atividade relevante à outra entidade. Esses recursos se fizeram necessários devido ao transporte de entidades diferentes no mesmo carrinho.

- Agrupamento das peças do mesmo tipo dentro da entidade, tomando, ao se incluir as restrições, o tempo de estação do trabalho robotizada mais longo para cada entidade, ou seja, para o fluxo 1, de travessas, adotar-se-á o tempo da estação do trabalho robotizada T1\_3, de 179,22s (vide Tabela1), para o fluxo 2, de longarinas, adotar-se-á o tempo da estação do trabalho T1\_9, que envia para a estação do trabalho T1\_5 e depois T5LE ou T5LD, as quais tem o mesmo tempo de ciclo.

- As operações de colocação e retirada de peças das estações do trabalho robotizadas, operações realizadas pelos operadores das estações do trabalho já estão inclusas no tempo de ciclo das estações do trabalho, e serão adicionadas ao modelo juntamente com as outras restrições, não sendo necessário criar função específica para esta atividade.

No Quadro 4 estão as descrições dos objetos presentes no modelo conceitual e o papel de cada um deles no processo.

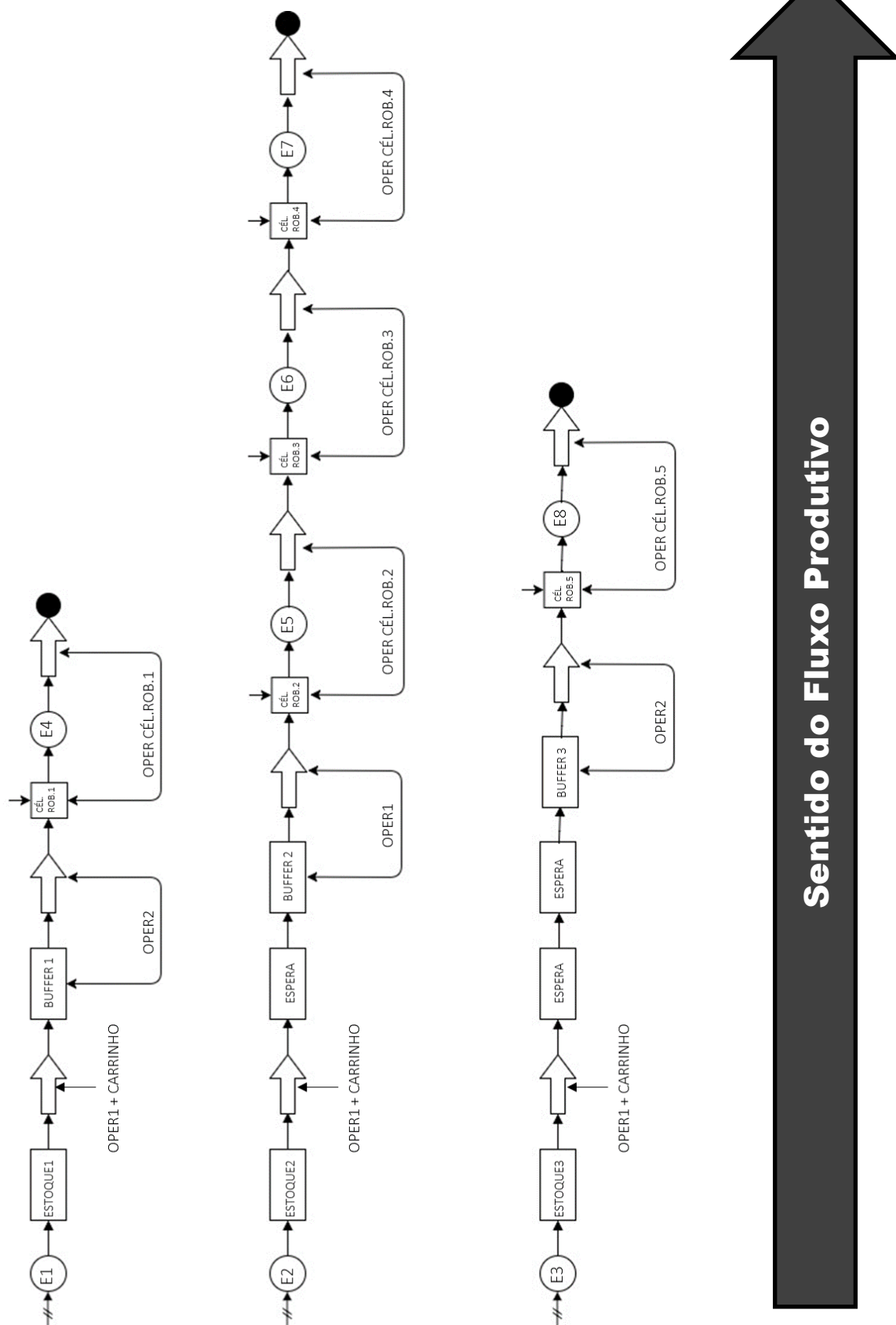
Quadro 4 – Descrição dos objetos presentes do modelo conceitual

TAG/NOME	TIPO	DESCRIÇÃO
E 1	Entidade	Estampados tipo travessa oriundos do estoque
E 2	Entidade	Estampados tipo longarina oriundos do estoque
E 3	Entidade	Estampados tipo suporte oriundos do estoque
E 4	Entidade	Entidade tipo Subconjunto Travessa oriundo da célula robotizada de solda de Travessas
E 5	Entidade	Entidade tipo Subconjunto Longarina + Reforço (parte frontal ou traseira, LD ou LE) oriundo da célula robotizada de solda de Longarinas
E 6	Entidade	Entidade tipo Subconjunto Longarina (parte frontal ou traseira, LD ou LE) oriundo da célula robotizada de solda de Longarinas
E 7	Entidade	Entidade tipo Subconjunto Longarina LD ou LE, oriundo da célula robotizada de solda de Longarinas
E 8	Entidade	Entidade tipo Subconjunto Suporte, oriundo da célula robotizada de solda de Suportes
ESTOQUE 1	Função	Estoque Central de estampados tipo Travessa
ESTOQUE 2	Função	Estoque Central de estampados tipo Longarinas
ESTOQUE 3	Função	Estoque Central de estampados tipo Suportes
BUFFER 1	Função	Estoque intermediário de peças estampadas tipo Travessa
BUFFER 2	Função	Estoque intermediário de peças tipo Longarinas
BUFFER 3	Função	Estoque intermediário de peças tipo Suportes
ESPERA	Função	Função utilizada para que o fluxo de uma entidade aguarde o descarregamento de outra entidade que não interage diretamente com o primeiro fluxo citado
CÉL.ROB1	Função	Célula robotizada responsável por transformar a entidade peças estampadas tipo travessa em subconjuntos tipo travessa
CÉL.ROB2	Função	Célula robotizada responsável por transformar a entidade peças estampadas tipo longarina em subconjuntos tipo longarina com reforço
CÉL.ROB3	Função	Célula robotizada responsável por transformar a entidade subconjuntos tipo longarina com reforço em subconjuntos tipo longarina dianteira ou traseira LE ou LD
CÉL.ROB4	Função	Célula robotizada responsável por transformar a entidade subconjuntos tipo longarina dianteira ou traseira LD ou LE em subconjuntos tipo longarina LD ou LE
CÉL.ROB5	Função	Célula robotizada responsável por transformar a entidade peças estampadas tipo suporte em subconjuntos tipo suporte
OPER 1	Recurso	Operador Logístico responsável por realizar a movimentação do comboio principal
OPER 2	Recurso	Operador Logístico responsável por realizar a movimentação buffer 1 para células de travessa
OPER 3	Recurso	Operador Logístico responsável por realizar a movimentação do buffer 3 para as células de suportes
OPER CÉL.ROB1	Recurso	Operador que abastece, aciona e retira as peças da célula robotizada 1
OPER CÉL.ROB2	Recurso	Operador que abastece, aciona e retira as peças da célula robotizada 2
OPER CÉL.ROB3	Recurso	Operador que abastece, aciona e retira as peças da célula robotizada 3
OPER CÉL.ROB4	Recurso	Operador que abastece, aciona e retira as peças da célula robotizada 4
OPER CÉL.ROB5	Recurso	Operador que abastece, aciona e retira as peças da célula robotizada 5

Fonte: Empresa estudada (2018).

O modelo conceitual desenvolvido pode ser visto na Figura 18

Figura 18. Modelo Conceitual IDEF-SIM do Objeto de Estudo



Fonte: Produção do próprio autor.

## 3.4 SIMULAÇÃO

### 3.4.1 Coleta e Tratamento de Dados de Entrada

Foi utilizada, como cenário para a simulação a própria planta da linha em escala, extraída do projeto em formato dwg (formato do software Autocad®), conforme pode ser visto na figura 22.

Para simular os tempos de movimentação, abastecimento e desabastecimento dos dois operadores logísticos do sistema, foram utilizados dois métodos:

Operador 1 - foi utilizado um estudo de tempos e métodos padronizados encomendado pela empresa estudada e as distâncias da planta original para calcular os tempos de movimentação em cada trecho, e também o tempo de abastecimento e desabastecimento. Aplicou-se uma distribuição triangular de  $\pm 20\%$  para cada um dos trechos, em função das variações corriqueiras de velocidades inerentes a um processo executado por pessoas e não máquinas, porcentagem considerada coerente pela empresa realizadora do estudo de tempos e métodos, de modo a aumentar a variabilidade entre as replicações, e assim, a fidelidade do modelo.

Esta variação de  $\pm 20\%$ , que a princípio é pertinente por trecho, se torna um *range* alto no trajeto total, o que pode ter um resultado interessante quando se quer trabalhar com garantia de atendimento, e não com ajuste fino de algum processo.

Operador 2 – Utilizou-se o mesmo estudo de tempos e métodos, porém para inferir uma velocidade média de movimentação, e os dados de entrada foram definidos em metros, utilizando-se também a planta original do projeto. Como as distâncias não variam ao longo do tempo, neste caso não foi aplicada nenhuma distribuição aos dados de entrada.

Os dados descritos acima podem ser vistos no anexo I. Os tempos de desabastecimento da estação do trabalho para a linha são absorvidos pelo tempo de ciclo da estação do trabalho, devido à proximidade, e não foram simulados, apenas o tempo de ciclo de cada estação do trabalho, os quais são constantes e aos quais também não se aplicam qualquer tipo de distribuição.

As quantidades de peças contidas em cada kit para a simulação foram definidas em função do máximo *takt-time* da linha, e que é o que se entende praticável à cada ciclo de movimentações, e é a quantidade de peças suficientes para montar 18 chassis por hora.

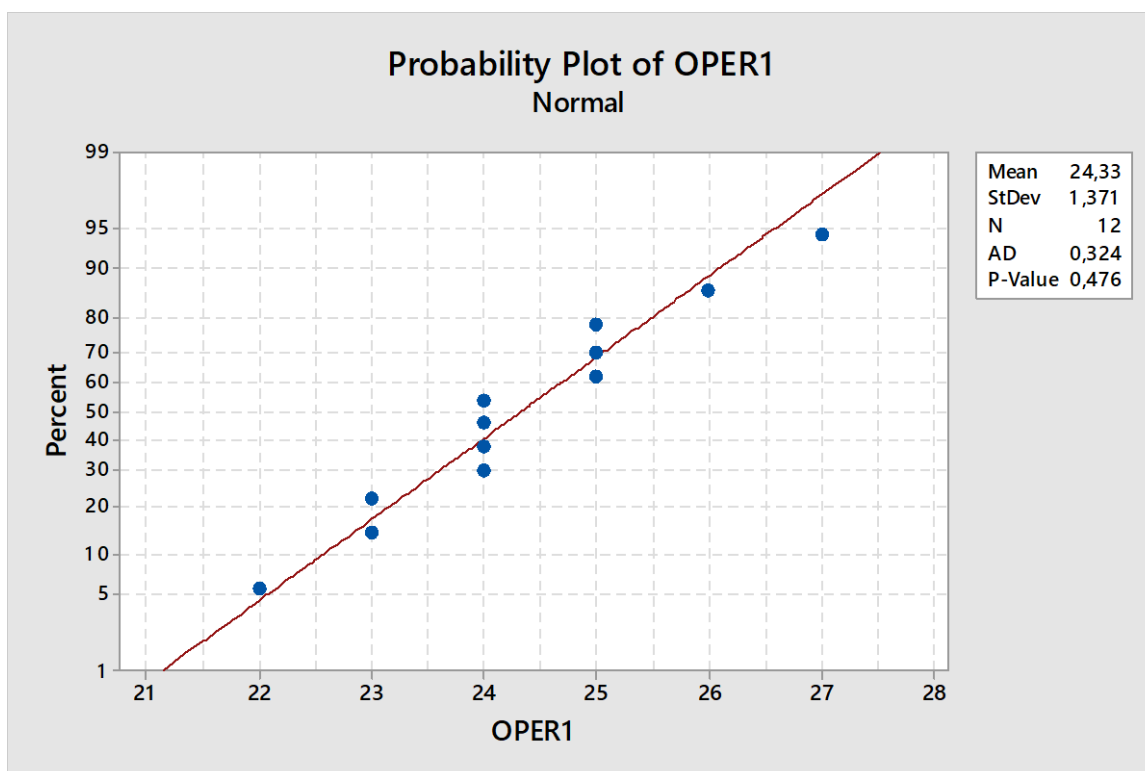


### 3.4.2 Validação dos Dados de Entrada

Foram realizadas 12 coletas válidas de tempo total de rota do Operador Logístico1. Tais coletas foram realizadas por colaboradores da linha de montagem. Foram expurgados tempos onde ocorreram eventos especiais (*outliers*) como paradas para reunião de time por exemplo, uma vez que a quantidade de amostras é pequena e um *outlier* poderia comprometer toda a distribuição.

Utilizando o software Minitab® testou-se a normalidade do conjunto de amostras, conforme Figura 19. Testou-se ainda, através do teste não paramétrico de Mann-Whitney a aderência entre o conjunto de amostras e o tempo teórico utilizado como dado de entrada na simulação, representado por meio de um conjunto de 30 amostras gerado através da distribuição triangular definida para o tempo teórico, conforme Figura 20.

Figura 19 – Teste de Normalidade para Tomadas de Tempo na Linha de Montagem



Fonte: Empresa estudada (2018).

Figura 20 – Teste de Mann-Whitney para os tempos do Operador1

Session		Worksheet1 ***		
<b>Mann-Whitney Test and CI: OPER1; distribuição</b>				
	N	Median		
OPER1	12	24,000		
distribuição	30	24,488		
Point estimate for $\eta_1 - \eta_2$ is 0,125				
95,0 Percent CI for $\eta_1 - \eta_2$ is (-1,203;1,760)				
W = 260,0				
Test of $\eta_1 = \eta_2$ vs $\eta_1 \neq \eta_2$ is significant at 0,9667				
The test is significant at 0,9667 (adjusted for ties)				
	C1	C2	C3	
	OPER1	distribuição		
1	23	26,2026	25,0723	
2	26	21,0587	22,9034	
3	24	19,7994	25,7318	
4	25	25,8460	25,2136	
5	23	25,4924	27,8359	
6	24	23,4874	24,7184	
7	24	19,9035	25,1412	
8	25	21,5445	28,0289	
9	22	24,2602	24,2823	
10	27	27,5190	20,4557	
11	24	25,6333	24,1112	
12	25	23,2437	21,7539	
13		26,2522	21,2399	
14		22,4058	24,6934	
15		24,7658	20,7517	

Fonte: Empresa estudada (2018).

Foi comprovada a hipótese da aderência entre os dados estimados e os dados coletados, logo os dados estimados podem ser usados como entrada para o experimento, validando assim também, o estudo de tempos e métodos padronizados realizado.

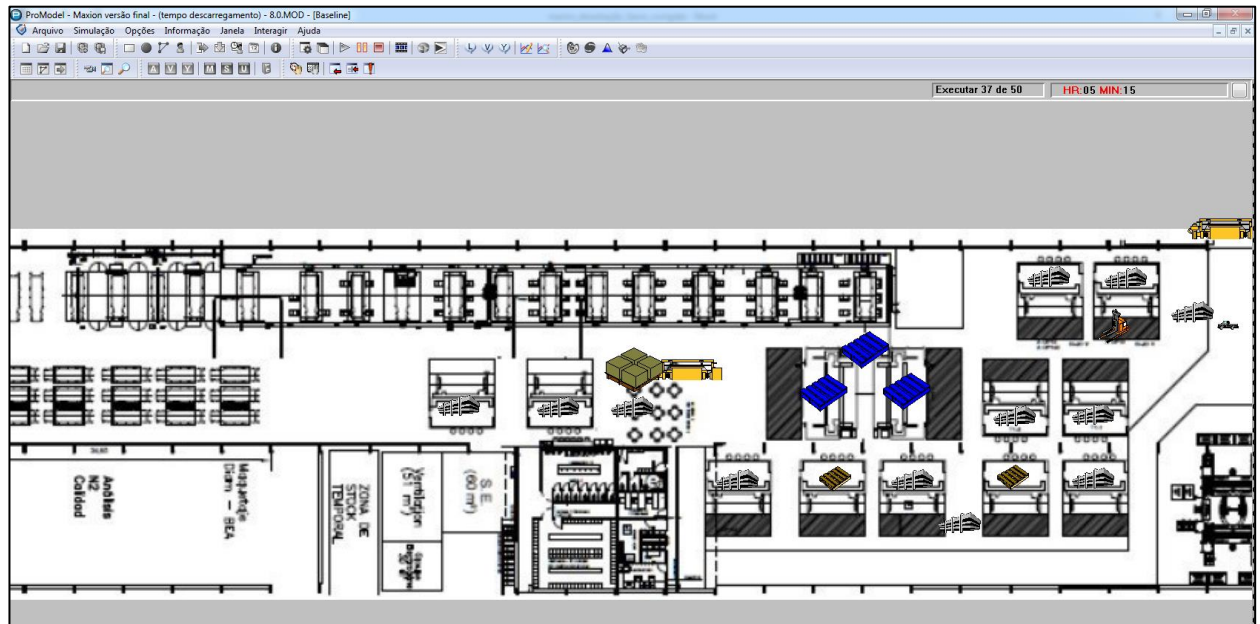
### 3.4.3 Rodada de Simulação e Interpretação dos Resultados

Foi realizada uma rodada com 10 replicações, simulando cada replicação equivalente a 2 semanas de 5 dias trabalhados, com 8h de produção em cada dia. As Figuras 21 e 22 mostram as configurações básicas para a rodada simulada e a tela de execução da simulação respectivamente.

Figura 21 – Configurações básicas da rodada simulada

Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 22 – Execução da simulação



Fonte: Produção do próprio autor.

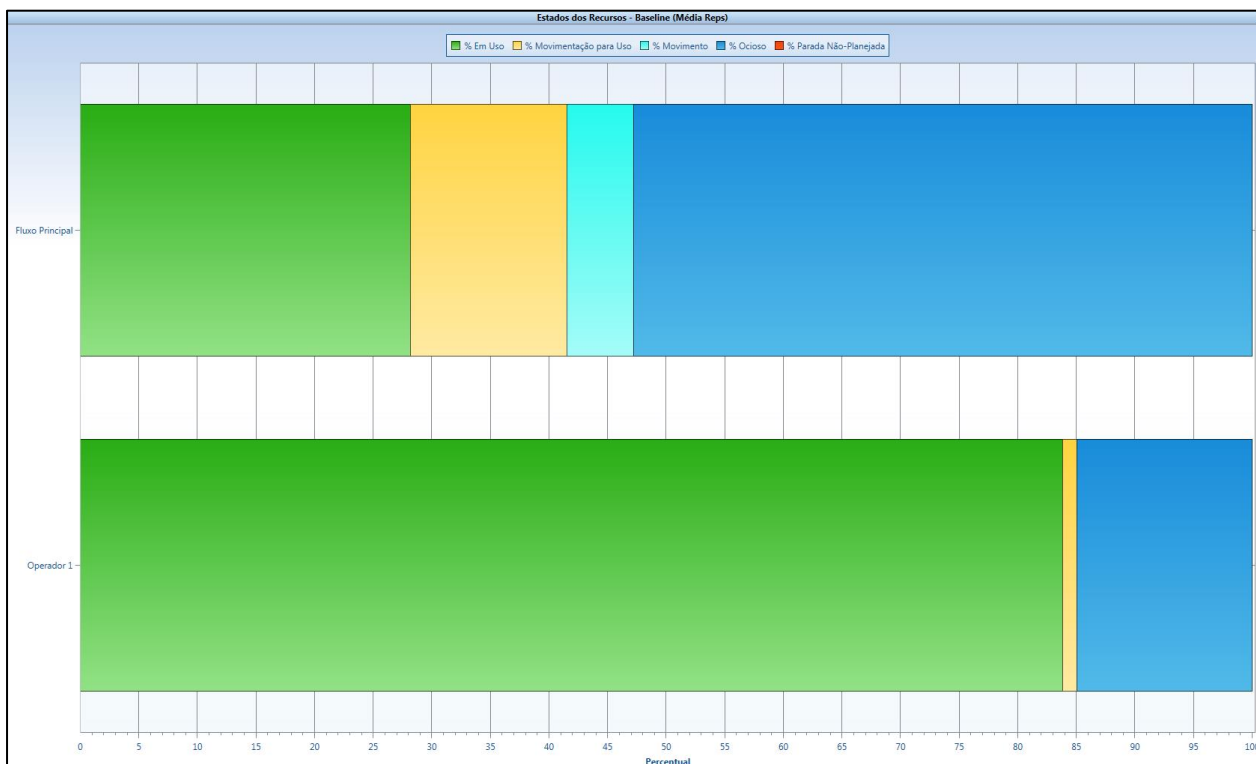
Foram realizadas as seguintes considerações por meio de recursos do software:

- A simulação inicia-se sempre com a linha cheia, ou seja, considera-se que o turno anterior deixou as estações do trabalho robotizadas com peças para iniciar a produção rodando.
- O primeiro dia de cada semana é considerado aquecimento, logo seus dados não são computados nos resultados da simulação.

### 3.4.4 Resultados da Simulação

Os resultados obtidos apresentam um desbalanceamento de mão de obra entre os 2 operadores logísticos (Figura 23) e ineficiência em relação ao processamento de todos os kits de peças que entram na linha, levando-se em conta a quantidade de kits que ficam no sistema após o fim do período simulado (Figura 24).

Figura 23 - Estado dos operadores ao longo da simulação



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 24 – Sumário de Entidades

Sumário de Entidades (Média Reps)									
Cenário	Replicação	Nome	Total de Saídas	Quantidade Atual no Sistema	Tempo Médio no Sistema (Min)	Tempo Médio em Lógica de Movimento (Min)	Tempo Médio Aguardando (Min)	Tempo Médio em Operação (Min)	
Baseline	Média	Kit	40.575,67	9.337,33	168,71	14,79	60,45	3,46	
Baseline	Média	Kits carregados	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Baseline	Média	Longarina	2.287,00	4,00	38,75	0,00	0,43	7,41	
Baseline	Média	LongarinaIntermediaria21	2.287,00	0,00	13,59	0,00	0,00	2,92	
Baseline	Média	LongarinaIntermediaria22	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Baseline	Média	Pallet	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Baseline	Média	SubconjuntoTravessa	3.606,00	928,67	115,57	1,80	88,95	2,90	
Baseline	Média	Suporte	2.005,00	0,00	16,42	0,00	0,00	3,03	

Fonte: Produção do próprio autor.

As entidades que aparecem com valor 0 na coluna “Total de Saídas”, assinaladas em vermelho, são artifícios de programação para agregar ou separar peças, não tendo valor real ou significando novos entrantes no processo.

Podemos ver no sumário de entidades, que 23% ficam no sistema após o final da simulação, isto é, não foram processadas. Isso indica que há gargalo na linha que impedem que todas as peças sejam processadas. Podemos observar na figura 25, um desbalanceamento entre as estações do trabalho, em relação à taxa de ocupação destas, que varia entre pouco mais que 50% a quase 100%.

As estações do trabalho com menores taxas de ocupação não estão recebendo peças

suficientes para trabalhar sem parada, ou seja, estão havendo paradas não programadas por falta de material. Esta hipótese é corroborada pela informação da coluna “Tempo Médio Aguardando” do Sumário de Entidades (Figura 24).

Figura 25 – Utilização das Estações do trabalho Robotizadas (%)



Fonte: Produção do próprio autor.

De fato, as estações do trabalho com menores taxas de utilização (T1-1, T1-2, T1-3 e T1-8) são as estações do trabalho que processam as travessas, a qual resultou no maior excedente do sistema em relação às peças processadas, conforme coluna “Total de Saídas” do Sumário de Entidades (Figura 24).

### 3.4.5 Melhorias Sugeridas no Processo

De modo a promover uma melhor e mais balanceada utilização dos recursos (pessoas), e tentar sanar o déficit de peças nas estações do trabalho de travessas, sugere-se que o Operador 2 passe a buscar as peças estampadas travessas diretamente do estoque central, abastecendo estas estações do trabalho (T1-1, T1-2, T1-3 e T1-8), na quantidade para 1h de produção, retirando esse abastecimento do *milk run*, que também se tornará mais rápido.

## 4 CONCLUSÕES

### 4.1 VERIFICAÇÃO DOS OBJETIVOS E RESPOSTA À QUESTÃO DE PESQUISA

Conclui-se que é possível, por meio da aplicação de Simulação a Eventos Discretos, melhorar a intra-logística de abastecimento de uma linha de montagem de chassis, de forma a alcançar seu balanceamento satisfatório, ou mais próximo do ideal, conforme questionado no capítulo inicial deste trabalho, ou, pelo menos, identificar de maneira imediata os pontos que estão impedindo o atingimento das metas estipuladas para o processo.

Quanto aos objetivos específicos citados no Capítulo 1:

- Foi possível modelar o sistema real do abastecimento da linha de montagem com a técnica de modelagem IDEF-SIM.
- Utilizou-se do modelo conceitual, para a programação do modelo computacional do abastecimento da linha de montagem utilizando o software ProModel<sup>®</sup>.
- Utilizou-se de técnicas estatísticas não paramétricas para validar os dados de entrada e dar fidelidade ao modelo simulado em relação ao sistema real.

Pode-se concluir também que o fato de o IDEF-SIM, se tratar de um modelo conceitual, não atrelado a comandos específicos de nenhum software, o torna extremamente flexível e adaptável.

É importante ter em mente que o modelo deve responder às questões necessárias na hora de ser testado e simulado. A orientação adotada no modelo conceitual pode ser às entidades ou às funções, dependendo do sistema real a ser simulado, e como este é melhor representado. Foi possível ver que o próprio modelo conceitual, antes da simulação, já tem aplicabilidade por ser um método eficaz de mapeamento de processo, podendo ser utilizado para discussões em nível tático e estratégico, antes da implementação do processo.

### 4.2 SUGESTÕES PARA NOVOS TRABALHOS

No sentido de ampliar a utilidade desta linha de pesquisa para a empresa estudada, sugere-se a exploração das seguintes possibilidades de trabalho adicional:

- Aplicação das melhorias propostas no modelo computacional, no intuito de decidir quanto a realizar as alterações na prática ou não.
- Verificar a necessidade de explodir os conjuntos em peças, ou se é possível manter o

modelo subdividido apenas em tipos de peças (Travessas, Longarinas e Suportes)

- Identificar as restrições do modelo e os valores, em um primeiro momento determinísticos das entradas, oriundos dos cálculos teóricos realizados pela equipe de desenvolvimento do processo através das tabelas de movimentos padronizados e estudo das estações do trabalho robotizadas, e/ou do *benchmarking* com a linha similar já existente.

- Desenvolver o modelo computacional no ProModel® utilizando as variáveis e restrições determinísticas adotadas no modelo conceitual e verificar aderência com aos valores teóricos.

- Estudar as melhores distribuições para cada entrada e simular o sistema com as entradas estocásticas definidas, a fim de identificar possíveis gargalos ou ociosidades no sistema.

- Uso da simulação por agentes, para aumentar a fidelidade da simulação, substituindo as entidades por agentes tomadores de decisão, em função das características e comportamentos típicos dos executantes das funções.

#### 4.3 VISÃO DA EMPRESA PATROCINADORA

“O conhecimento da melhor ferramenta a ser aplicada para determinado tipo de problema é parte fundamental de uma estratégia que garanta a eficiência dos recursos aplicados na sua solução. Ao definirmos o campo de estudo dessa pesquisa, a partir de um problema (construção de uma nova linha de montagem) definido, a escolha da melhor ferramenta de aplicação para garantir uma linha enxuta foi premissa.

Havia, dentro da empresa, uma espécie de paradigma quanto ao melhor software de simulação de processos a ser utilizado. Com este trabalho, que passou por uma reavaliação dos softwares disponíveis, esse paradigma foi quebrado. A aproximação com o mundo acadêmico nos garantiu a utilização de uma metodologia robusta e confiável para avaliação das ferramentas de simulação além de proporcionar o desenvolvimento de nosso colaborador no tema, fazendo que, abrissemos a possibilidade de desenvolver simulações internamente o, no mínimo, avaliássemos melhor a qualidade do serviço fornecidos pelas empresas especializadas nesse tipo de projeto.

Considero que os frutos gerados por essa pesquisa já estão sendo colhidos dentro da expectativa da empresa.”<sup>1</sup>

---

1 Marco Túlio, gerente de Engenharia e Inovação da empresa estudada, *sponsor* do projeto.



## REFERÊNCIA

- AGUILAR-SAVÉN, R.S. Business process modeling: review and framework, **International Journal of Production Economics**, Doha, v. 90, p. 129–149, 2004.
- BANKS, J. Introduction to simulation. In: WINTER CONFERENCE, 1999, Atlanta. **Proceeding...** Atlanta, 1999. Disponível em: <<http://doi: 10.1109/ WSC.2000.899690>>. Acesso: 23 out. 2017.
- BANKS, J.; CARSON II, J. S.; NELSON, B. L.; NICOL, D.M. **Discrete-event system simulation**. 4th ed. New Jersey: Prentice Hall, 2004.
- BERTRAND, J. W. M.; FRANSOO, J. C. Operations management research methodologies using quantitative modeling. **International Journal of Operations and Production Management**, Eindhoven, v. 22, n. 2, p. 241-264, 2002.
- BIAZZO, S. Approaches to business process analysis: a review. **Business Process Management Journal**, Padua, v. 6, n. 2, p. 99-112, 2000.
- CARVALHO, L. S. Modelagem e simulação: poderosa ferramenta para a otimização de operações logísticas. **Bahia Análise e Dados**, Salvador, v. 13, n. 2, p. 267-274, set. 2003.
- CHENG-LEONG, A.; PHENG, K. L.; IDEF\*: a comprehensive modelling methodology for the development of manufacturing enterprise systems. **International Journal of Production Research** 37(17), 1999. Disponível em: <<http://www.tandf.co.uk/JNLS/prs.htm>>. Acesso em: 22 jul. 2018.
- CHEUNG, Y.; BAL, J. Process analysis techniques and tools for business improvements. **Business Process Management Journal**, Clayton, v. 4, n. 4, p. 274-290, 1998.
- CHWIF, L.; MEDINA, A. C. **Modelagem e simulação de eventos discretos: teoria e aplicações**. 2. ed. São Paulo: Editora dos Autores, 2010.
- DIAS, L. M. S. et al. Discrete simulation software ranking: a top list of the worldwide most popular and used tools. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 2017, Las Vegas. **Proceedings**, Las Vegas, 2017. p. 1060–1071.
- ENDEAVOR BRASIL. **Indústria 4.0: as oportunidades de negócio de uma revolução que está em curso**, 2017. Disponível em: <<https://endeavor.org.br/tecnologia/industria-4-0-oportunidades-de-negocio-de-uma-revolucao-que-esta-em-curso/>>. Acesso em: 4 abr. 2018.
- FREITAS FILHO, P. J. **Introdução à modelagem e simulação de sistemas: com aplicações em arena**. 2. ed. Florianópolis: Visual Books, 2008.
- GARVIN, David A. The processes of organization and management. **MIT Sloan Management Review**, Massachusetts, v. 39, n. 4, p. 33, 1998.
- HARRINGTON, J. **Business process improvement workbook: documentation, analysis, design and management of business process improvement**. New York: McGraw-Hill, 1997.

HUNT, V. D. **Process mapping: how to reengineer your business processes**. Canada: John Wiley & Sons, 1996.

JAMIL, M.; RAZALI, N. M. Simulation of assembly line balancing in automotive component manufacturing. **IOP Conference Series: materials science and engineering**, v. 114, p. 012049, 2016. Disponível em: <<http://stacks.iop.org/1757-899X/114/i=1/a=012049?key=crossref.dd9dd9d86ad66d56475c2c256b8cc864>>. Acesso em: 09 set. 2017.

KELTON, W.D. A tutorial on design and analysis of simulation experiments. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 1995, Arlington. **Proceedings...** Arlington, 1995.

LEAL, F.; ALMEIDA, D. A.; MONTEVECHI, J. A. B. Uma proposta de técnica de modelagem conceitual para a simulação através de elementos do IDEF. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 15., 2008, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa, 2008.

MACIEL, L. F. **Aplicação da simulação a eventos discretos no balanceamento de linha de montagem**. 2016. 55 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Campus Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2016.

MAZZALI, L.; MILAN, M. A integração empresa cliente – operador logístico: uma análise na cadeia automotiva. **Revista Gestão & Produção**, Ipiranga, v. 13, n. 2. p. 353-366, mai-ago. 2006.

MENDONÇA, M. M. et al. Aplicação da modelagem conceitual idf-sim ao software de modelagem computacional simul8: um caso prático. ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO 2013, Salvador 2013. **Anais...** Salvador, 2013.

MIRANDA, R. D. C. **Redução do espaço de busca em problemas de otimização via simulação utilizando análise envoltória de dados e arranjos ortogonais de Taguchi**. 2015. 186f. Dissertação (Doutorado em Engenharia de Produção) – Campus Itajubá, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2015.

MOURA, D. A. **Caracterização e análise de um sistema de coleta programada de peças, “milk run”, na indústria automobilística nacional**, 2000. 274 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia naval) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

NELSON, B. L.; YAMNITSKY, M. Input modeling tools for complex problems. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 1998, Washington. **Proceedings...** Washington, 1998.

PAIM, Rafael et al. **Gestão por processos: pensar, agir e aprender**. São Paulo: Bookman, 2009. 328 p.

PEINADO, J.; GRAEMI, A. R. **Administração da produção: operações industriais e de serviços**. Curitiba: UnicenP, p. 748, 2007.

SCHWAB, K. **A quarta revolução industrial**. São Paulo: EDIPRO, 2016.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da produção**. São Paulo: Atlas, 2002. p. 200-227.

SOLIMAN, F. Optimum level of process mapping and least cost business process re-engineering. **International Journal of Operations Production Management**, p. 810-816, 1999.

SCOPUS. **Gráficos de relevância**. Disponível em: <<http://www.scopus.com>>. Acesso em: 3 maio 2018.

STEVENSON, Willian J. **Administração das operações de produção**. Rio de Janeiro: LTC, 2002. p. 199-206.

VALLE, Rogério; OLIVEIRA, Saulo Barbará (Org.). **Análise e modelagem de processos de negócio**: foco na notação BPMN (Business Process Modeling Notation). São Paulo: Atlas, 2009. p. 207.

WEB OF SCIENCE. **Base de dados bibliográficos**. Disponível em: <<https://login.webofknowledge.com/>>. Acesso em: 5 abr. 2018.

## ANEXO I – ESTUDO DE TEMPOS E MÉTODOS PADRONIZADOS

SECUENCIA MOVIMIENTOS		Tiempos en Centímetros																					
		MOVIMIENTOS DECOMPUESTOS EM - SM																					
		1																					
		TIEMPOS PREDETERMINADOS																					
Operario		Transpales					Preparadora					Autolevadores					Remolcadores					Tractores	
COD	DESCRIPCIÓN	SM1	TP1	TP2	TP3	PR1	PR1	TR1	TR1	GE2	GE2	GE3	GE3	GT1	GT1	TE1	TE1	TE2	TE2	TT1	TT1		
SMA	Subir	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50	5,50	5,50	5,50	5,50	11,50	11,50		
SMB	Descender	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	5,00	5,00	5,00	5,00	11,00	11,00		
SIC	Erganciar dispositivo	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65		
SID	Desenganchar dispositivo	3,20	3,20	3,20	3,20	3,20	3,20	3,20	3,20	3,20	3,20	3,20	3,20	3,20	3,20	3,20	3,20	3,20	3,20	3,20	3,20		
SME	Elevar / Bajar	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35		
SIF	Tirar / Empujar	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50		
SIG	Tomar cajón	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00		
SIM	Depositar cajón	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00		
SII	Quitar embalajes secundarios (bolsas, cajas)	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00		
SJK	Extender / retirar cintas de trilateral	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00		
SML		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
SNI		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
SNO		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
SOP		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		

TRASLADOS		EQUIPAMIENTOS																					
		TIEMPOS PREDETERMINADOS																					
		MOVIMIENTOS BASICOS																					
		TIEMPOS PREDETERMINADOS																					
Operario		Transpales					Preparadora					Autolevadores					Remolcadores					Tractores	
COD	DESCRIPCIÓN	SM1	TP1	TP2	TP3	PR1	PR1	TR1	TR1	GE2	GE2	GE3	GE3	GT1	GT1	TE1	TE1	TE2	TE2	TT1	TT1		
TRA	Desplazamiento de equipo sin carga	-	1,20	0,70	1,20	1,20	0,72	0,72	0,72	0,40	0,40	0,60	0,60	0,30	0,30	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40		
TRB	Desplazamiento de equipo sin carga Sitio Dificultoso	-	1,60	0,90	1,60	1,60	0,72	0,72	0,72	0,60	0,60	0,80	0,80	0,40	0,40	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60		
TRC	Desplazamiento de equipo con carga	-	1,50	1,00	1,50	1,50	0,72	0,72	0,72	0,45	0,45	0,60	0,60	0,40	0,40	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50		
TRD	Desplazamiento de equipo con carga Sitio Dificultoso	-	2,10	1,30	2,10	2,10	0,72	0,72	0,72	0,55	0,55	0,90	0,90	0,90	0,90	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60		
TRE	Desplazamiento a pie sin carga	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70		
TRF	Desplazamiento a pie con carga	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90		
TRG	Desplazamiento a pie con carga Sitio Dificultoso	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82		
TRH	Desplazamiento a pie con carga Sitio Dificultoso	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05		

MÉTODO BÁSICO		MOVIMIENTOS BASICOS																					
		TIEMPOS PREDETERMINADOS																					
		MOVIMIENTOS BASICOS																					
		TIEMPOS PREDETERMINADOS																					
Operario		Transpales					Preparadora					Autolevadores					Remolcadores					Tractores	
COD	DESCRIPCIÓN	SM1	TP1	TP2	TP3	PR1	PR1	TR1	TR1	GE2	GE2	GE3	GE3	GT1	GT1	TE1	TE1	TE2	TE2	TT1	TT1		
MBA	Alcanzar	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13		
MBB	Tomar	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40		
MBC	Mover	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13		
MBD	Posicionar	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30		
MBE	Soltar	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30		
MBF	Agacharse	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88		
MBG	Levantarse / Erguirse	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00		
MBH	Girar 90°	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10		
MBI	Girar 180°	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45		

Fonte: Empresa estudada (2008)