

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS – UNISINOS  
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E  
SISTEMAS  
NÍVEL MESTRADO**

**AUGUSTO GEORIG PLACK**

**ESTRUTURAS FUNDAMENTAIS PARA SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS DE  
*LAYOUT* PRODUTIVO**

**São Leopoldo**

**2025**

Augusto Georig Plack

ESTRUTURAS FUNDAMENTAIS PARA SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS DE  
*LAYOUT* PRODUTIVO

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS

Orientador: Dr. André Korzenowski

São Leopoldo

2025

P698e Plack, Augusto Georig.  
Estruturas fundamentais para simulação de cenários  
de layout produtivo / Augusto Georig Plack. – 2025.  
196 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade do Vale do  
Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia de Produção e Sistemas, 2025.

“Orientador: Dr. André Korzenowski”.

1. Planejamento de layout. 2. Simulação. 3. Artefatos.  
4. Metalmecânico. 5. Indústria automotiva. 6. Pesquisa-  
ação. I. Título.

CDU 658.5:004

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
(Bibliotecária: Amanda Schuster Ditbenner – CRB 10/2517)

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, agradeço a Deus, por ter me dado saúde, perseverança e bênçãos ao longo desta jornada, e por sempre me conceder sabedoria para tomar as decisões certas ao longo da vida.

Gostaria também de expressar minha sincera gratidão a todos que, de maneira direta ou indireta, contribuíram para a realização desta dissertação.

Ao Prof. Dr. André Korzenowski, agradeço imensamente pela paciência e orientação ao longo desta jornada. As inúmeras conversas, alinhamentos e trocas de ideias foram fundamentais para o sucesso do meu trabalho.

Ao doutorando Vanderlei Benetti, agradeço pelas valiosas contribuições iniciais em relação ao tema da pesquisa e por seus esclarecimentos sobre o programa de mestrado. Sua compreensão, especialmente nos momentos em que precisei me ausentar do trabalho para assistir às aulas, foi essencial para meu progresso acadêmico.

Ao Dr. Fabrício Carlos Schmidt, registro meu sincero agradecimento por todo o apoio e incentivo que me levaram a escolher este programa de Mestrado. Sua confiança foi uma motivação constante ao longo do caminho.

À Empresa, agradeço o investimento e apoio concedido ao meu desenvolvimento acadêmico. Tenho plena convicção de que a disseminação da simulação de fluxos produtivos trará resultados significativos para a empresa no futuro.

Ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade do Vale do Rio dos Sinos, sou profundamente grato pela ampliação dos meus conhecimentos. Agradeço, em especial, ao ex-coordenador do programa, Dr. Daniel Lacerda, e à atual coordenadora, Dra. Débora Oliveira, pelo contínuo apoio e incentivo oferecido à nossa turma.

Por fim, deixo meu agradecimento aos familiares, amigos e colegas de trabalho, cuja contribuição, apoio e compreensão foram fundamentais no desenvolvimento desta importante etapa da minha vida.

## RESUMO

A busca constante por aumento de produtividade tem sido uma das principais estratégias das empresas para se manterem competitivas em um mercado cada vez mais dinâmico e exigente. Com o passar dos anos, a simulação computacional de fluxos produtivos e o planejamento de *layout* vêm se destacando como ferramentas essenciais para alcançar a excelência operacional. A pesquisa destaca a importância do SLP na organização física dos processos, considerando aspectos como fluxo de materiais, alocação de recursos e restrições de espaço. Paralelamente, a simulação computacional é utilizada como uma ferramenta de validação, permitindo a análise de diferentes cenários e a identificação de oportunidades de melhoria antes da implementação das mudanças no *layout*. O objetivo deste trabalho é identificar as estruturas para auxiliar no processo de planejamento sistemático de *layout* e simulação de eventos discretos, englobando conceitos da engenharia de produção. Para alcançar este objetivo, adotou-se a metodologia de Pesquisa-Ação, aplicada em uma empresa do setor automotivo localizada no noroeste do estado do Rio Grande do Sul, Brasil, que fabrica peças para grandes montadoras. A empresa já utiliza a simulação de eventos discretos, mas de forma limitada, deixando um amplo campo de oportunidades para explorar essa ferramenta no apoio a decisões mais complexas e estratégicas. Além disso, a dissertação aborda conceitos complementares, como a Teoria das Restrições (TOC) e outras metodologias aplicadas na engenharia de produção, visando a criação de uma base robusta para a melhoria de fluxos produtivos. De modo geral, o objetivo da pesquisa foi alcançado por meio da elaboração de duas grandes estruturas que servem como guias para a aplicação do Planejamento de *Layout* e o desenvolvimento de modelos de simulação de *layout*, facilitando sua adoção na indústria e contribuindo com fundamentos importantes na literatura. A pesquisa fornece uma abordagem metodológica detalhada para a aplicação conjunta dessas ferramentas, suprimindo uma lacuna na literatura e facilitando sua implementação na prática industrial.

**Palavras-chave:** Planejamento de *Layout*, Simulação, artefatos, metalmecânico, indústria automotiva, Pesquisa-ação.

## ABSTRACT

The constant search for increased productivity has been one of the main strategies used by companies to remain competitive in an increasingly dynamic and demanding market. Over the years, computer simulation of production flows and layout planning have emerged as essential tools for achieving operational excellence. The research highlights the importance of SLP in the physical organization of processes, considering aspects such as material flow, resource allocation and space restrictions. In parallel, computer simulation is used as a validation tool, allowing the analysis of different scenarios and the identification of opportunities for improvement before implementing changes in the layout. The objective of this work is to identify the structures to assist in the process of systematic layout planning and discrete event simulation, encompassing concepts from production engineering. To achieve this objective, the Action Research methodology was adopted and applied in an automotive company located in the northwest of the state of Rio Grande do Sul, Brazil, which manufactures parts for large automakers. The company already uses discrete event simulation, but in a limited way, leaving a wide field of opportunities to explore this tool to support more complex and strategic decisions. In addition, the dissertation addresses complementary concepts, such as the Theory of Constraints (TOC) and other methodologies applied in production engineering, aiming at creating a robust basis for improving production flows. In general, the objective of the research was achieved through the elaboration of two large frameworks that serve as guides for the application of Layout Planning and the development of layout simulation models, facilitating their adoption in the industry and contributing with important foundations in the literature. The research provides a detailed methodological approach for the joint application of these tools, filling a gap in the literature and facilitating their implementation in industrial practice.

**Keywords:** Layout planning, Simulation, artifacts, metalworking, automotive industry, action research.

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Requisitos para um bom <i>layout</i> .....	35
Quadro 2 – Vantagem e desvantagem dos tipos de <i>layout</i> .....	37
Quadro 3 – Etapas do planejamento SLP .....	41
Quadro 4 – Tipos de diagrama de processos.....	42
Quadro 5 – Tipo de diagramas para o fluxo de materiais.....	42
Quadro 6 – Convenção de proximidades .....	44
Quadro 7 – Etapas para a definição do espaço .....	45
Quadro 8 – Palavras-chave de busca na literatura .....	100

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Síntese dos Autores <i>Layout</i> e Planejamento.....	61
Tabela 2 – Síntese dos Trabalhos Relacionados <i>Layout</i> e Planejamento .....	62
Tabela 3 – Síntese dos autores Simulação de Eventos Discretos .....	82
Tabela 4 – Síntese dos trabalhos relacionados Simulação de Eventos Discretos ....	83
Tabela 5 – Requisitos de Espaço - Estudo .....	147
Tabela 6 – Dados de entrada para Simulação - Estudo.....	153

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Resultado da Busca com temas da Pesquisa na Base Scopus..... 18

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Posição da Competitividade do Brasil comparada aos 18 países analisados....	20
Figura 2 – Fatores-chave do Mapa Estratégico da Indústria 2023-2032.....	20
Figura 3 – BSC Engenharia, TI e Excelência Operacional e relação com o tema de pesquisa .....	21
Figura 4 – Síntese do Referencial Teórico .....	24
Figura 5 – <i>Layout</i> posicional.....	27
Figura 6 – <i>Layout</i> por produto .....	28
Figura 7 – <i>Layout</i> por processo.....	30
Figura 8 – <i>Layout</i> Celular .....	31
Figura 9 – <i>Layout</i> misto .....	32
Figura 10 – Etapas do planejamento do <i>layout</i> .....	34
Figura 11 – Etapas do planejamento de instalações.....	34
Figura 12 – Relação entre o tipo de processos e tipos de <i>layout</i> .....	36
Figura 13 – Relações volume, variedade e <i>layout</i> .....	39
Figura 14 – Etapas do planejamento SLP .....	41
Figura 15 – Carta de inter-relações preferências .....	43
Figura 16 – Construção do Diagrama de relacionamento e <i>layout</i> inicial.....	44
Figura 17 – Estrutura dos Sistemas de Produção.....	48
Figura 18 – Simbologia do Mecanismo da Função Produção .....	49
Figura 19 – O método de focalização em 5 etapas .....	53
Figura 20 – Analogia da tropa ao gargalo .....	55
Figura 21 – Alocação dos pulmões de acordo com a metodologia TPC .....	57
Figura 22 – Alocação dos pulmões e utilização da corda de acordo com a metodologia TPC .....	58
Figura 23 – Modelo de Simulação.....	64
Figura 24 – Etapas do Estudo de Simulação – Montevechi .....	69
Figura 25 – Etapas do Estudo de Simulação – Vieira .....	70
Figura 26 – Etapas do Estudo de Simulação – Ruiz .....	71
Figura 27 – Etapas do Trabalho, Objetivos e suas saídas .....	86
Figura 28 – Objetivos do Trabalho e Relação com o Referencial teórico.....	89
Figura 29 – Delimitações do Estudo.....	90
Figura 30 – Foto área da Empresa.....	91
Figura 31 – Fluxo produtivo macro da Empresa.....	96
Figura 32 – Estrutura organizacional da Empresa .....	97

Figura 33 – Critérios e Resultados da Revisão da Literatura .....	100
Figura 34 – Revisão de Literatura Rayyan - 1º Classificação .....	101
Figura 35 – Revisão de Literatura Rayyan - 2º Classificação .....	102
Figura 36 – Termos de Busca utilizados na Scopus .....	103
Figura 37 – Estrutura Planejamento de Layout .....	108
Figura 38 – Estrutura Planejamento de Layout .....	109
Figura 39 – Estrutura Planejamento das Instalações e Requisitos .....	110
Figura 40 – Estrutura Requisitos Básicos para Início do Projeto.....	113
Figura 41 – Estrutura Informações necessárias para o SLP .....	115
Figura 42 – Estrutura Etapas do Planejamento Sistemático de Layout (SLP) .....	118
Figura 43 – Estrutura Etapas do Estudo de Simulação, Dados e Boas Práticas.....	120
Figura 44 – Estrutura Metodologia Estudo de Simulação .....	123
Figura 45 – Estrutura Dados de Entrada para Simulação .....	126
Figura 46 – Estrutura Checklist das Informações.....	129
Figura 47 – Estrutura Sistema de Produção na Indústria de Autopeças .....	132
Figura 48 – Estrutura Boas Práticas para o Gerenciamento de Modelos de Simulação...	135
Figura 49 – Desenho da Peça do Estudo.....	138
Figura 50 – Desenho da Peça do Estudo.....	138
Figura 51 – Macro Layout da Empresa .....	139
Figura 52 – Desenho da peça e diferentes modelos .....	142
Figura 53 – Diagrama de Fluxo - Estudo.....	146
Figura 54 – Diagrama de Inter-Relações - Estudo .....	146
Figura 55 – Diagrama de Inter-Relações de Espaços - Estudo.....	148
Figura 56 – Diagrama de Inter-Relações de Espaços com restrições - Estudo .....	149
Figura 57 – Diagrama de Inter-Relações de Espaços com restrições e Buffers 1 - Estudo .....	149
Figura 58 – Diagrama de Inter-Relações de Espaços com restrições e Buffers 2 - Estudo .....	150
Figura 59 – Proposta digitalizada do Diagrama de Inter-Relações de Espaços - Estudo .....	150
Figura 60 – Layout Inicial 2D - Estudo .....	151
Figura 61 – Layout Inicial 3D - Estudo .....	151
Figura 62 – Modelo Conceitual para Simulação - Estudo .....	152
Figura 63 – Modelo Conceitual para Simulação com Tempos e Operadores - Estudo .....	153
Figura 64 – Construção do Modelo Computacional 2D - Estudo.....	154
Figura 65 – Modelo Computacional 3D durante a simulação - Estudo.....	155
Figura 66 – Relatório de Simulação Produção - Estudo.....	156

Figura 67 – Relatório de Simulação Operadores - Estudo .....	156
Figura 68 – Relatório de Simulação Distâncias Percorridas - Estudo .....	157
Figura 69 – Relatório de Simulação Turnos - Estudo.....	157
Figura 70 – Relatório de Simulação Utilização Postos - Estudo.....	158
Figura 71 – Relatório de Simulação Buffers principais - Estudo.....	158
Figura 72 – Relatório de Simulação Diagrama de <i>Sankey</i> - Estudo.....	159
Figura 73 – Relatório de Simulação Disponibilidades - Estudo.....	159
Figura 74 – Estrutura dos Objetos dentro do Software - Estudo .....	164
Figura 75 – Organização dos objetos para o relatório - Estudo .....	164
Figura 76 – Nomenclatura do arquivo de simulação - Estudo.....	165
Figura 77 – Manual Básico de Treinamento para Simulação .....	165
Figura 78 – Preparação da área fabril para instalação da Linha de Produção.....	166
Figura 79 – Instalações de Infraestrutura .....	167
Figura 80 – Instalações de Infraestrutura e meios de produção.....	167
Figura 81 – Primeiros testes no robô .....	168
Figura 82 – Primeiros testes de produção.....	168
Figura 83 – Primeiras peças fabricadas .....	169

## LISTA DE SIGLAS

- BSC – *Balanced Scorecard* (Indicadores Balanceados de Desempenho)
- CAD – *Computer Aided Design* (Desenho Assistido por Computador)
- CCR – *Capacity Constraints Resources* (Recurso Restritivo de Capacidade)
- CNC – *Computer Numerical Control* (Controle Numérico Computadorizado)
- DES – *Discrete event simulation* (Simulação de Eventos Discretos)
- DS – *Design Science* (Ciência do Design)
- DSR – *Design Science Research* (Pesquisa em Ciência do Design)
- EBSCO – *Business Source Complete*
- MFV – Mapeamento de Fluxo de Valor
- OPT – *Optimum Production Technology* (Tecnologia de Produção Ideal)
- PDP – Processo de Desenvolvimento de Produto
- RSL – Revisão Sistemática de Literatura
- SLP – *Systematic Planning Layout* (Planejamento Sistemático de Layout)
- SMART – *Specific, Measurable, Achievable, Relevant e Time-bound*
- TOC – *Theory of Constraints* (Teoria das Restrições)
- TPC – Tambor - Pulmão - Corda
- VSM – *Value Stream Mapping* (Mapeamento de Fluxo de Valor)
- WEF – *World Economic Forum*
- WIP – *Work In Process* (Trabalho em Progresso)
- 3D – 3 Dimensões

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>14</b>
1.1	PROBLEMA DE PESQUISA	15
1.2	OBJETIVOS	16
1.2.1	Objetivo Geral	16
1.2.2	Objetivos Específicos	16
1.3	JUSTIFICATIVA	17
1.3.1	Justificativa acadêmica	17
1.3.2	Justificativa empresarial	19
1.4	DELIMITAÇÕES	21
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO	23
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>24</b>
2.1	SÍNTESE DO REFERENCIAL TEÓRICO	24
2.2	LAYOUT	25
2.2.1	MACRO LAYOUT FABRIL	26
2.2.2	PLANEJAMENTO E PROJETO DE LAYOUT	32
2.2.3	SISTEMA DE PRODUÇÃO	47
2.2.4	TEORIA DAS RESTRIÇÕES	51
2.2.5	TEORIA DAS RESTRIÇÕES NO PROJETO DO LAYOUT	58
2.2.6	SINTESE DOS AUTORES E TRABALHOS RELACIONADOS	61
2.3	SIMULAÇÃO	63
2.3.1	SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL E DE EVENTOS DISCRETOS	63
2.3.2	ETAPAS DO ESTUDO DE SIMULAÇÃO	67
2.3.3	VANTAGENS E DESVANTAGENS DA SIMULAÇÃO DE LAYOUT PRODUTIVO	71
2.3.4	REQUISITOS PARA O FUNCIONAMENTO DOS MODELOS DE SIMULAÇÃO	73
2.3.5	SINTESE DOS AUTORES E TRABALHOS RELACIONADOS	81
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>84</b>
3.1	METODOLOGIA DE PESQUISA	84
3.2	MÉTODO DE TRABALHO	86

3.3	IDENTIFICAÇÃO E CONSCIENTIZAÇÃO DO PROBLEMA.....	88
3.3.1	DEFINIÇÃO DOS OBJETIVOS.....	89
3.3.2	DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	89
3.3.3	IDENTIFICAÇÃO DA EMPRESA.....	90
3.4	REVISÃO DE LITERATURA.....	99
3.4.1	TÉCNICA PARA EXPANSÃO DE BUSCA.....	103
<b>4</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>105</b>
4.1	IDENTIFICAÇÃO DOS ARTEFATOS.....	105
4.1.1	LAYOUT E PLANEJAMENTO SISTEMÁTICO DE LAYOUT.....	105
4.1.2	ETAPAS DO ESTUDO DE SIMULAÇÃO.....	118
4.1.3	AVALIAÇÃO DOS ARTEFATOS E ADEQUAÇÃO PARA O CASO.....	136
4.2	INTEGRAÇÃO ENTRE OS CONJUNTOS DE ARTEFATOS.....	136
4.2.1	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E APLICAÇÃO EM UM CASO PILOTO NA EMPRESA.....	137
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>171</b>
5.1	PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES.....	173
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>175</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A indústria automotiva desempenha um papel fundamental no crescimento econômico e na inovação tecnológica a nível global. A constante evolução dos processos produtivos no setor tem tornado as decisões relacionadas ao planejamento fabril cada vez mais desafiadoras. A multiplicidade de modelos, os altos custos de desenvolvimento e a necessidade de otimização da produção impõem exigências rigorosas sobre a organização do *layout* industrial, que impacta diretamente a eficiência operacional e os resultados financeiros das empresas (Oliveira; Nunes; Afonso, 2018; Benetti, 2021).

Um dos principais desafios enfrentados pelas montadoras e fornecedores do setor automotivo está na definição do *layout* fabril, uma decisão que pode determinar o sucesso ou o fracasso da operação produtiva. O arranjo inadequado de máquinas, equipamentos e fluxos produtivos pode resultar em ineficiências, desperdícios, aumento de custos operacionais e dificuldades logísticas. A tomada de decisão sobre *layout*, quando feita sem um embasamento adequado, pode levar a alterações irreversíveis ou de alto custo para correção.

Além disso, com o avanço da personalização da produção e a diversificação dos modelos automotivos, as operações fabris tornaram-se ainda mais dinâmicas. As empresas precisam adaptar seus processos constantemente para atender à demanda de mercado sem comprometer a produtividade. No entanto, sem ferramentas adequadas para testar e validar as mudanças no *layout*, existe um grande risco de implementar alterações que tragam mais problemas do que soluções, impactando negativamente a eficiência operacional (Muller, 2002; Pizarro, 2014).

Nesse sentido, a simulação computacional de eventos discretos surge como uma ferramenta essencial para a análise e otimização de *layouts* produtivos. Ao permitir a modelagem de diferentes cenários antes da implementação física, a simulação possibilita a identificação antecipada de gargalos, a otimização do fluxo de materiais e a melhor alocação de recursos (Jorge et al., 2017; Battissacco, 2021). Dessa forma, a não utilização dessa ferramenta pode levar a decisões equivocadas, comprometendo a produtividade e a segurança da fábrica.

A capacidade de prever problemas e ajustar a configuração da planta antes da execução na prática permite um planejamento mais preciso e alinhado com os objetivos estratégicos da empresa. Além disso, a simulação possibilita a análise detalhada de diferentes estratégias de *layout*, facilitando a tomada de decisão e reduzindo os riscos associados a mudanças estruturais (Fortunato, 2024).

Apesar dos benefícios da simulação, muitas empresas ainda utilizam abordagens tradicionais, como experiência prévia e ajustes baseados em tentativas e erros, o que pode levar a investimentos mal direcionados e dificuldades na adaptação a novas demandas. Além disso, a falta de padronização no uso da simulação e a necessidade de profissionais qualificados são barreiras que limitam sua adoção em larga escala na indústria automotiva (Goldmeyer, 2012; Alcácer et al., 2019; Pereira, 2022).

Outra questão relevante é o tempo necessário para corrigir erros derivados de um *layout* mal planejado. Dependendo da complexidade da operação e da estrutura física da fábrica, os custos e prazos para ajustes podem ser extremamente elevados. Isso demonstra a importância de validar previamente as alterações por meio da simulação, evitando decisões precipitadas que possam comprometer a produtividade no longo prazo (Cambui et al, 2019)

## 1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

O planejamento de *layout* é um dos pilares da eficiência operacional na indústria automotiva. Um *layout* bem estruturado permite reduzir deslocamentos desnecessários, otimizar o uso do espaço físico e melhorar o fluxo de materiais e pessoas dentro da fábrica (Chagas, 2021). O Planejamento Sistemático de *Layout* (SLP), desenvolvido por Richard Muther (1978), é uma metodologia amplamente utilizada para garantir que a organização física dos recursos produtivos seja eficiente e bem planejada.

Entretanto, a crescente complexidade dos sistemas produtivos exige a utilização de ferramentas que permitam testar diferentes configurações antes da implementação. A simulação computacional de eventos discretos é um recurso valioso para esse fim, pois possibilita a análise de cenários variados sem a

necessidade de alterar fisicamente o *layout*, reduzindo custos e riscos associados a decisões equivocadas (Oliveira, 2023; Amaral, 2022).

A ausência da simulação no planejamento de *layout* pode gerar uma série de impactos negativos, como a definição inadequada da disposição de equipamentos e fluxos produtivos, dificuldades na adaptação a novas demandas e, em casos mais graves, a necessidade de reajustes estruturais custosos e de difícil reversão. A falta de ferramentas que possibilitem a análise antecipada dos impactos das decisões pode comprometer a competitividade da empresa e aumentar a vulnerabilidade a imprevistos (Machado et al., 2023)

Além disso, a ausência da simulação limita a capacidade de identificar oportunidades de melhoria que poderiam otimizar os processos produtivos. Muitas empresas acabam descobrindo gargalos produtivos apenas após a implementação de mudanças físicas, o que acarreta custos adicionais e retrabalho. Com a simulação, é possível prever e corrigir tais problemas antes mesmo que ocorram, garantindo um planejamento de *layout* mais robusto e eficiente (Fortunato, 2024; Machado et al., 2023).

Diante desse contexto, esta pesquisa busca responder à seguinte questão: **Como reduzir os impactos negativos da não utilização da simulação computacional de eventos discretos no Planejamento de *Layout* na indústria automotiva?**

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

O estudo tem como objetivo identificar as estruturas para auxiliar no processo de planejamento sistemático de *layout* e simulação de eventos discretos, englobando conceitos da engenharia de produção, aplicados em um caso prático.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Para responder ao objetivo geral deste trabalho, foram desenvolvidos os seguintes objetivos específicos:

- i) Identificar as melhores práticas do processo do Planejamento Sistemático de *Layout* identificadas na literatura;
- ii) Identificar as melhores práticas do processo de simulação de *layouts* produtivos identificadas na literatura;
- iii) Estabelecer o relacionamento entre os objetivos da simulação e os elementos necessários para o projeto de novos *layouts*;
- iv) Avaliar a contribuição das estruturas identificadas no auxílio do processo de projeto e simulação de *layout* em uma indústria metalmeccânica/automotiva/autopeças.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

Os pressupostos que fundamentam o desenvolvimento deste trabalho estão organizados em duas justificativas: uma de cunho acadêmico e outra de cunho empresarial

#### 1.3.1 Justificativa acadêmica

A justificativa acadêmica deste trabalho fundamenta-se na relevância dos temas abordados para as pesquisas atuais. Tal relevância é evidenciada pelo número expressivo de publicações relacionadas ao tema, conforme identificado na base de dados *Scopus*, como demonstrado no Gráfico 1, limitada a publicações até dezembro de 2024.

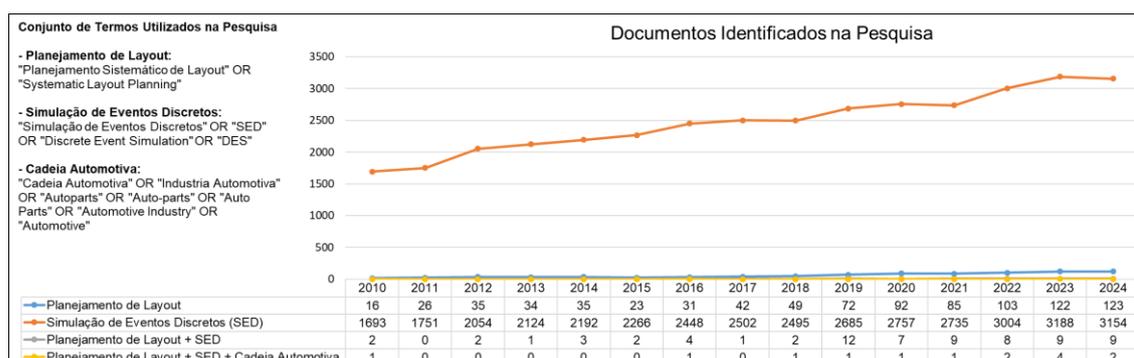
Uma busca realizada com termos relacionados ao Planejamento Sistemático de *Layout* resultou em 888 documentos publicados nos últimos 15 anos. Por sua vez, ao utilizar termos associados à Simulação de Eventos Discretos, foram encontrados 37.048 documentos no mesmo período. Isso demonstra o interesse contínuo da comunidade acadêmica nesses tópicos, sobretudo quando a Simulação de Eventos Discretos é aplicada ao *layout* produtivo, reforçando sua importância no contexto de pesquisas industriais.

No entanto, quando esses temas são combinados em uma busca conjunta, observa-se uma significativa redução no número de publicações. Apenas 71 documentos foram encontrados ao combinar os termos referentes ao Planejamento

de *Layout* e à Simulação de Eventos Discretos, número que cai ainda mais para 14 documentos quando incluídos termos relacionados à indústria automotiva e de autopeças.

Esse reduzido volume de publicações evidencia uma lacuna na literatura, indicando a escassez de estudos que investiguem a interseção entre Planejamento de *Layout* e Simulação de Eventos Discretos, especialmente no setor automotivo. Esse setor, caracterizado pela necessidade de linhas de montagem flexíveis para atender a aumentos de produção, customizações e lançamentos de novos produtos, demanda a realização de simulações prévias de alterações no *layout* e no fluxo produtivo, antes de qualquer implementação prática. Nesse contexto, este trabalho se justifica pela oportunidade de contribuir para o aprofundamento e a ampliação das discussões sobre essa importante relação.

Gráfico 1 – Resultado da Busca com temas da Pesquisa na Base Scopus



Fonte: o Autor com base nos resultados de busca na base de dados da Scopus (2024).

O processo de simulação envolve uma série de etapas preparatórias e posteriores, essenciais para a construção e aplicação de modelos que entreguem resultados satisfatórios. No entanto, muitos trabalhos avaliados não detalham suficientemente esses elementos, conforme destacado no estudo de Barbieri (2018), que explora a complexidade intrínseca dos modelos de simulação. Essa lacuna na literatura evidencia a necessidade de abordagens que aprofundem a compreensão sobre os processos que sustentam a aplicação da simulação em conjunto com o SLP, promovendo maior rigor e clareza nas práticas acadêmicas e organizacionais.

A integração entre o planejamento de *layout* e a simulação apresenta-se como uma contribuição relevante, tanto para a prática gerencial das empresas quanto para o avanço da teoria. Conforme argumentam Chwif et al. (2015), essa integração oferece uma visão ampliada dos desafios enfrentados pelas organizações na

implementação e uso dessas ferramentas, enriquecendo o arcabouço teórico que sustenta as decisões estratégicas.

Adicionalmente, conforme apontado por Richter (2016), a aplicação consistente dessas práticas auxilia na superação de barreiras operacionais, proporcionando ganhos significativos em eficiência e competitividade. Dessa forma, este trabalho busca não apenas otimizar processos e fluxos produtivos dentro da indústria, mas também avançar na construção teórica sobre gestão de operações, engenharia industrial e a aplicação de tecnologias da Indústria 4.0 (Oliveira, 2023). Ao conectar teoria e prática, pretende-se oferecer uma contribuição robusta para o campo acadêmico e empresarial, promovendo soluções integradas e eficazes que atendam às demandas de um mercado cada vez mais dinâmico e complexo.

### **1.3.2 Justificativa empresarial**

A justificativa prática desta pesquisa baseia-se na relevância e utilidade do estudo para o setor industrial brasileiro, um pilar fundamental da economia nacional. Atualmente, o setor industrial responde por 25,5% do PIB do Brasil, representando 66,6% das exportações de bens e serviços e 66,8% dos investimentos em pesquisa e desenvolvimento realizados pelo setor privado. Dentro desse segmento, destaca-se a indústria de transformação, que é responsável por 15,3% do PIB nacional e 14,7% dos empregos formais (CNI, 2023).

Embora o setor industrial seja expressivo, sua competitividade global é motivo de preocupação. Em 2019, o Brasil ocupava a 71ª posição no ranking de competitividade do *World Economic Forum* (WEF) (CNI, 2022). O relatório "Competitividade Brasil 2021-2022", que compara o desempenho do Brasil com 18 países de economias semelhantes, posiciona o país na antepenúltima colocação (CNI, 2022). Apesar de uma leve melhora, com a ascensão da 17ª para a 16ª posição, o avanço de outras nações mantém a competitividade brasileira em um nível relativamente baixo, conforme ilustrado na figura 1 (CNI, 2022).

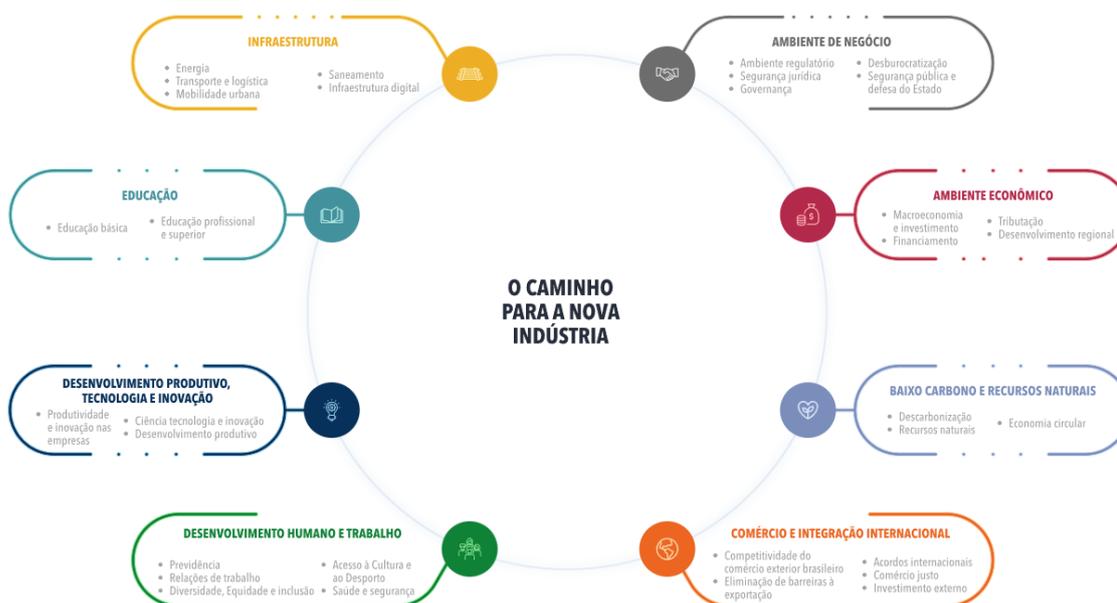
Figura 1 – Posição da Competitividade do Brasil comparada aos 18 países analisados.



Fonte: CNI (2022).

Nesse contexto, a elevação da produtividade e da competitividade da indústria brasileira se torna uma necessidade. O investimento contínuo em inovação tecnológica e na gestão eficiente é apontado como um caminho essencial para alcançar esse objetivo. Esse cenário motivou a Confederação Nacional da Indústria (CNI) a desenvolver o Mapa Estratégico da Indústria 2023-2032, que estabelece uma visão de longo prazo para o crescimento do setor. O mapa da figura 2, identifica os principais fatores que afetam a competitividade industrial, destacando o Desenvolvimento Produtivo, Tecnologia e Inovação na Empresa como um dos oito fatores-chave que influenciam o desempenho do setor.

Figura 2 – Fatores-chave do Mapa Estratégico da Indústria 2023-2032



Fonte: CNI - Confederação Nacional da Indústria (2023).

Dentre as iniciativas propostas pelo Mapa Estratégico, a promoção de avanços no desenvolvimento produtivo, tecnológico e de inovação empresarial é central. A relevância desses fatores para a competitividade nacional reforça a pertinência da pesquisa, que se alinha diretamente às necessidades de

aprimoramento da produtividade e inovação nos processos das empresas. Assim, o estudo pretende contribuir com soluções práticas e aplicáveis que podem influenciar positivamente o desempenho da indústria, de acordo com as diretrizes estratégicas da CNI.

Além disso, o presente trabalho está alinhado ao *Balanced Scorecard* (BSC) da empresa estudada, integrando-se de forma estratégica às quatro perspectivas do negócio: Financeira, Clientes e Mercado, Processos Internos, e Aprendizado e Conhecimento. Em particular, o estudo está fortemente relacionado à perspectiva de Processos Internos, uma vez que visa implementar a simulação computacional para apoiar a tomada de decisões sobre o *layout* produtivo, com o objetivo de maximizar a eficiência operacional e otimizar o uso dos ativos. Conforme ilustrado na Figura 3, essa abordagem estratégica reforça o foco em melhorias contínuas nos processos, promovendo maior competitividade e sustentabilidade para a empresa.

Figura 3 – BSC Engenharia, TI e Excelência Operacional e relação com o tema de pesquisa



Fonte: o Autor com base nos dados da Empresa (2024).

#### 1.4 DELIMITAÇÕES

Como esta pesquisa reúne e discute temas de grande abrangência na literatura e no cotidiano das organizações, algumas delimitações se fazem necessárias para que a pesquisa possa ser desenvolvida de maneira adequada. O contexto geral da pesquisa abordará o Planejamento Sistemático de *Layout* na indústria de autopeças, sendo este aplicado inicialmente e, posteriormente,

relacionado à Simulação de Eventos Discretos para análise e validação das configurações propostas.

A seguir serão apresentados alguns aspectos relevantes que foram levados em consideração durante o desenvolvimento da pesquisa:

- i) Não foram abordados os aspectos de custos relacionados às ferramentas e tecnologias discutidas ao longo do trabalho;
- ii) Esta pesquisa não teve como objetivo a implementação completa da solução proposta, mas sim uma implementação parcial em um caso piloto, considerando as limitações de tempo e a complexidade envolvida em sua execução;
- iii) A Empresa de autopeças abordada na pesquisa é a do segmento metalmeccânico, estando as propostas de solução direcionadas para as especificidades das empresas deste segmento;
- iv) Não foi o objetivo do trabalho realizar uma análise de todas as ferramentas, métodos e modelos relacionados ao Planejamento de *Layout* ou determinados *softwares* de simulação disponíveis na literatura. Serão analisadas e exploradas as contribuições daqueles apresentados no Capítulo 2, os quais foram escolhidos pelo autor por serem considerados mais pertinentes ao contexto da pesquisa;
- v) Foi utilizado na pesquisa também o conhecimento de caso do autor, com base em 5 anos de vivência e experiência em empresa de grande porte, fornecedora de autopeças para as principais montadoras do Brasil;
- vi) A empresa em questão já utiliza algum *software* CAD, onde possui toda sua planta (*layout*) digitalizada;
- vii) A empresa em questão possui breve conhecimento sobre simulação de *layout* e detém pelo menos uma licença para algum *software* de simulação.

## 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O primeiro capítulo apresenta a proposta de trabalho, assim como, o tema de pesquisa, o problema de pesquisa, que foram os motivadores para os objetivos do estudo (divididos em geral e específicos), as justificativas (acadêmica e empresarial) seguido das delimitações que também compõem este capítulo.

O segundo capítulo trata do Referencial Teórico, abordando todos os aspectos teóricos sobre *Layout*, Projeto de *Layout* e Simulação.

O terceiro capítulo trata dos procedimentos metodológicos, onde são apresentadas a Metodologia de Pesquisa e Método de Trabalho que serão utilizados para o desenvolvimento da dissertação. Quanto à Metodologia será brevemente apresentado o Estudo de Caso e os motivos da sua escolha para o desenvolvimento do trabalho. Quanto ao Método de Trabalho, trata dos passos a serem seguidos para desenvolvimento desta pesquisa.

O capítulo de número quatro apresenta a pesquisa quanto à análise dos resultados e discussão dos resultados e o capítulo cinco trata das Considerações finais, bem como as oportunidades para trabalhos futuros.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

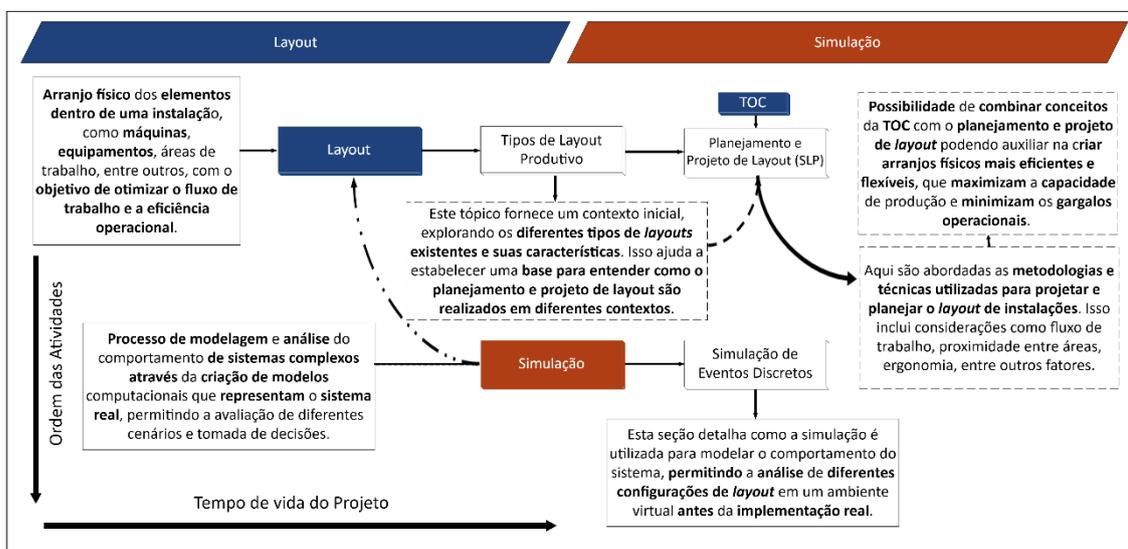
### 2.1 SÍNTESE DO REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção que engloba o referencial teórico deste trabalho serão explorados diversos tópicos, abrangendo, desde as teorias fundamentais até as aplicações práticas. Para uma compreensão mais clara e abrangente das inter-relações entre esses tópicos, será apresentado abaixo, uma figura, sintetizando essa complexa rede de conceitos. Esta representação visual servirá como um guia explicativo, permitindo uma análise mais aprofundada das conexões e influências mútuas entre os elementos que serão discutidos no restante do referencial.

Através dessa abordagem, pretende-se fornecer uma visão panorâmica da teoria, facilitando a compreensão e a assimilação dos conceitos que serão apresentados nos tópicos seguintes.

O primeiro aspecto que será abordado no referencial teórico é o cerne deste estudo, englobando a questão central que é o *layout* e o projeto de *layout*. Esta seção fundamenta a primeira camada da análise, seguida pela aplicação de ferramentas de simulação computacional, que se desenvolvem de forma sequencial. Essas ferramentas podem ser consideradas como uma segunda camada na abordagem, evoluindo conforme o projeto amadurece ao longo do tempo. A imagem abaixo, ilustra de forma breve, estes tópicos mencionados.

Figura 4 – Síntese do Referencial Teórico



Fonte: Elaborada pelo Autor (2024).

A exploração de diversos tipos de *layouts*, tais como por produto, por processo e celular, entre outros, serve como fundamento essencial para o planejamento e projeto de arranjos físicos, influenciando diretamente as decisões sobre distribuição de recursos. O processo de planejamento e projeto de *layout* visa otimizar a operação, sendo conduzido por uma compreensão profunda dos diferentes tipos de *layout* e envolvendo decisões estratégicas para aprimorar a eficiência operacional. Métodos como o *SLP* são comumente empregados nesse contexto.

Além disso, com a possibilidade da integração de conceitos da Teoria das Restrições (TOC) com o planejamento de *layout* podendo contribuir significativamente para a criação de arranjos físicos mais flexíveis e eficientes. Isso inclui a identificação e mitigação de gargalos operacionais, o posicionamento estratégico de máquinas e postos de trabalho, bem como a criação de *buffers* para proteger os recursos críticos contra interrupções ou flutuações na demanda. A TOC também enfatiza a importância de avaliar o impacto das mudanças no sistema como um todo, em vez de otimizar partes isoladamente. Consolidando assim, a primeira camada da ilustração acima (destacada em azul).

Aliando a estes fatores, a simulação de eventos discretos é uma ferramenta valiosa para testar virtualmente diferentes configurações ou arranjos de *layout* antes da implementação real, agilizando o processo de tomada de decisão. Essa ferramenta pode ser considerada como uma segunda camada na abordagem e ilustração acima (destacada em vermelho), evoluindo conforme o tempo de vida do projeto.

## 2.2 LAYOUT

Antes de entrar na discussão sobre projeto de *layout*, deve se ter o entendimento mínimo sobre o que é *layout*, seus tipos e como são relevantes para a produção fabril, entre outros pontos importantes deste tema.

O arranjo produtivo ou *layout*, temas frequentemente abordados em pesquisas na área de Administração da Produção, podem ser conceituados conforme a definição proposta por Slack, Chambers e Johnston (2009, p. 200):

“O arranjo físico de uma operação produtiva preocupa-se com o posicionamento físico dos recursos de transformação. [...] definir o arranjo físico é decidir onde colocar todas as instalações, máquinas, equipamentos e pessoal da produção. [...] Também determina a maneira segundo a qual

os recursos transformados – materiais, informação e clientes – fluem pela operação.”

Além disso, para Harmon e Peterson (1991, p. 45) fazem referência a um plano macro fabril que:

“[...] constitui-se de um *layout* para uma certa fábrica contendo, na medida do possível, não apenas a disposição ideal, mas também estratégias passo a passo para a mudança de cada processo das localizações atuais para as desejadas como meta.”

A questão do *layout* ou arranjo físico nas organizações emergiu como um campo de estudo de grande relevância, quando a humanidade começou a perceber a conexão entre os processos conduzidos nesses ambientes e a eficaz distribuição dos elementos que compõem esses processos (SQUILANTE JÚNIOR, 2019; SILVA et. al, 2022).

À medida que o conhecimento humano avançou, cresceu a preocupação em investigar métodos para aprimorar o arranjo físico em diversas áreas. Novamente, esse impulso foi motivado pela busca contínua de organizações eficazes e capazes de manter sua competitividade. Essa demanda inerentemente envolveu a necessidade de definir como o *layout* poderia otimizar a execução de processos em sistemas produtivos variados, abrangendo contextos tão diversos como hospitais, escolas, instituições financeiras, aeroportos, indústrias de manufatura e outros setores fundamentais, como destacado por Martins e Laugeni (2015) e Soares (2023).

### 2.2.1 MACRO LAYOUT FABRIL

Conforme descrito por Slack et al. (2018) e Ribeiro (2023), o conceito de *layout* ou arranjo físico diz respeito à organização dos recursos empregados na produção de bens em uma instalação fabril. Esse arranjo é cuidadosamente planejado, levando em consideração os processos de fabricação a serem executados e a interação necessária entre os diversos recursos disponíveis.

Segundo Neumann e Scalice (2015), o arranjo físico de uma fábrica é influenciado por uma série de variáveis essenciais, compreendendo:

- **Natureza do Produto** - Esta variável se relaciona às características do produto fabricado, incluindo sua tipologia, seja ele um bem físico ou um serviço.
- **Processo de Fabricação** - Engloba os pormenores dos procedimentos de produção, bem como os recursos e tecnologias envolvidos na manufatura.
- **Volume de Produção** - Exerce influência sobre o tamanho da unidade fabril e a quantidade de recursos de transformação necessários.

A interação entre essas variáveis desempenha um papel fundamental na determinação do arranjo físico mais apropriado, para uma dada situação de produção.

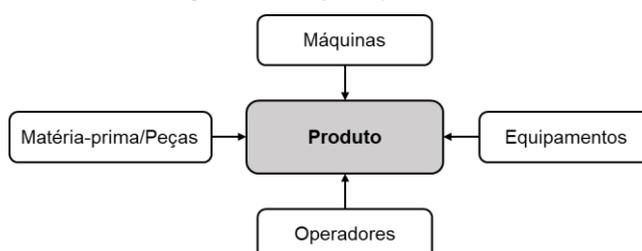
De acordo com alguns autores, tais como Filippo Filho (2014), Martins e Laugeni (2015), Neumann e Scalice (2015), Slack et al. (2018) e Silvestre et al. (2023), poderá ser realizado uma análise dos tipos de layouts mais importantes que podem ser aplicados para a indústria de transformação, conforme próximos tópicos.

#### 2.2.1.1 Layout Posicional

Com exemplos de aplicações, como a construção naval, manutenção de computadores mainframes, desenvolvimento de rodovias e a utilização de grandes pontes rolantes, evidenciam situações em que o movimento não se direciona ao produto, mas sim aos recursos necessários para a execução dos processos de fabricação ou prestação de serviços, como destacado por Squilante Júnior (2019), Ribeiro (2023), e exemplificado no trabalho de Sales et. al (2023).

Dessa forma, é importante notar que as máquinas, equipamentos e operadores se deslocam até o ponto onde o produto está sendo processado, como ilustrado de forma simplificada na figura 5 (SQUILANTE JÚNIOR, 2019).

Figura 5 – *Layout* posicional



Fonte: Adaptado de Neumann e Scalice (2015, cap. 14).

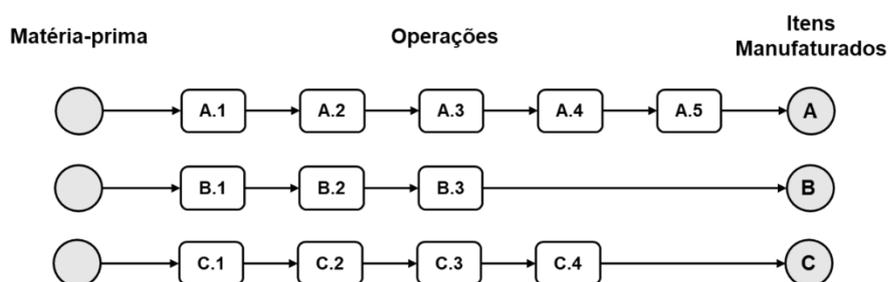
Nesse arranjo físico específico, a mobilização de mão de obra, máquinas e equipamentos se torna imperativa, resultando em altos custos, uma vez que esses recursos são utilizados de maneira ineficiente. Essa ineficiência decorre da impossibilidade de mover o próprio produto para otimizar a operação, tornando essa abordagem a única alternativa viável (NEUMANN et al, 2015; SALES, 2023; SILVESTRE et al, 2023; RIBEIRO, 2023).

### 2.2.1.2 Layout por Produto

Trata-se de aplicações que envolvem linhas de montagem de veículos, alimentação *self-service*, campanhas de vacinação, entre outros. Nessas linhas verifica-se que o objetivo é a alta produtividade, em que os produtos se movimentam na linha até sua conclusão final. Caracterizam-se por manterem os equipamentos e recursos humanos fixos em postos de trabalho. As operações realizadas em cada posto são repetitivas (SQUILANTE JÚNIOR, 2019; SALES, 2023; SILVESTRE et al, 2023; RIBEIRO, 2023).

Nestas configurações, o foco primordial é a elevada produtividade, com os produtos seguindo um fluxo contínuo até a etapa final de produção. Uma característica distinta desses arranjos reside nos equipamentos e mão de obra em postos de trabalho específicos, fixos. As tarefas executadas em cada posto são, em sua essência, repetitivas, conforme enfatizado por Squilante Júnior (2019), Ribeiro (2023) e Silvestre et al. (2023) na figura seguinte.

Figura 6 – *Layout por produto*



Fonte: Adaptado de Neumann e Scalice (2015, cap. 14).

Segundo Neumann et al. (2015) e Leite (2022), este tipo de arranjo físico oferece notáveis vantagens, tais como taxas de produtividade substancialmente elevadas, a viabilidade de implementar altos níveis de automação devido à natureza repetitiva das tarefas, redução significativa do tempo de preparação das máquinas,

diminuição da dependência de mão de obra altamente especializada e a capacidade de empregar máquinas dedicadas para operações que se repetem com frequência.

A principal desvantagem associada a este arranjo físico reside na sua escassa flexibilidade, tornando-o pouco adaptável a variações nas especificações dos produtos em processo de fabricação. Além disso, enfrenta-se o desafio da necessidade de sincronização rigorosa dessas linhas, já que uma falha de funcionamento em qualquer equipamento, pode resultar na paralisação completa da linha de produção (SQUILANTE JÚNIOR, 2019; RIBEIRO, 2023).

### 2.2.1.3 Layout por Processo

De acordo com Squilante Júnior (2019), Ribeiro (2023) e observado através do trabalho de Oliveira et. al (2020) este arranjo, comumente denominado *layout* funcional, se distingue pela sua subdivisão em departamentos, cada um com funções específicas a desempenhar. Nesse contexto, os produtos seguem um percurso através dos departamentos, de acordo com os processos necessários para sua fabricação.

Nesse caso, o volume de produção do *layout* passa a ser baixo, enquanto a variedade de produtos é elevada. Outra denominação desse tipo de *layout*, comumente usada é *job shop*.

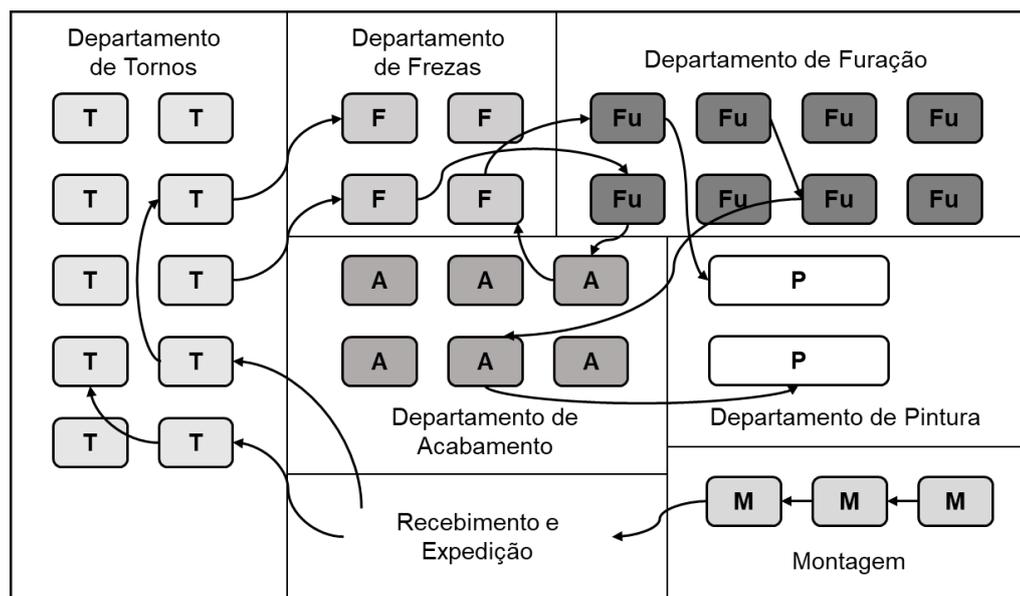
Os departamentos são organizados de modo que cada um deles contenha máquinas com funções semelhantes, como exemplificado com os departamentos de tornos e fresas, entre outros. Vale ressaltar que, nesses contextos, as máquinas podem ser do tipo de comando numérico (CNC), o que confere a elas uma flexibilidade operacional notável. Isso implica que um torno, por exemplo, pode executar uma variedade de processos de torneamento, fazendo uso de diferentes ferramentas à sua disposição. Da mesma forma, máquinas fresadoras têm a capacidade de realizar operações de fresagem com diversas ferramentas (SQUILANTE JÚNIOR, 2019; SILVESTRE et al, 2023; RIBEIRO, 2023).

De acordo com Squilante Júnior (2019) e Silvestre et al. (2023), o desafio a esse modelo de arranjo físico reside na delimitação das relações espaciais entre os diversos departamentos. Um critério eficaz para essa definição é a proximidade entre departamentos frequentemente interligados em operações. Essa abordagem visa a

minimização dos tempos dispendidos nas atividades de deslocamento, contribuindo para otimizar o fluxo produtivo.

Pode-se encontrar exemplos clássicos de utilização desse *layout* em bibliotecas, hospitais e instituições bancárias, por exemplo. A Figura 7, abaixo mostra uma situação genérica de *layout* por processo.

Figura 7 – *Layout* por processo



Fonte: Martins e Laugeni (2015, p. 147).

Um ponto bastante importante e de destaque neste tipo de *layout* é sua capacidade de se adaptar e absorver a novos *mix* de produtos, ou seja, ele é flexível o suficiente para atender a mudanças de mercado (SQUILANTE JÚNIOR, 2019; OLIVEIRA et. al, 2020).

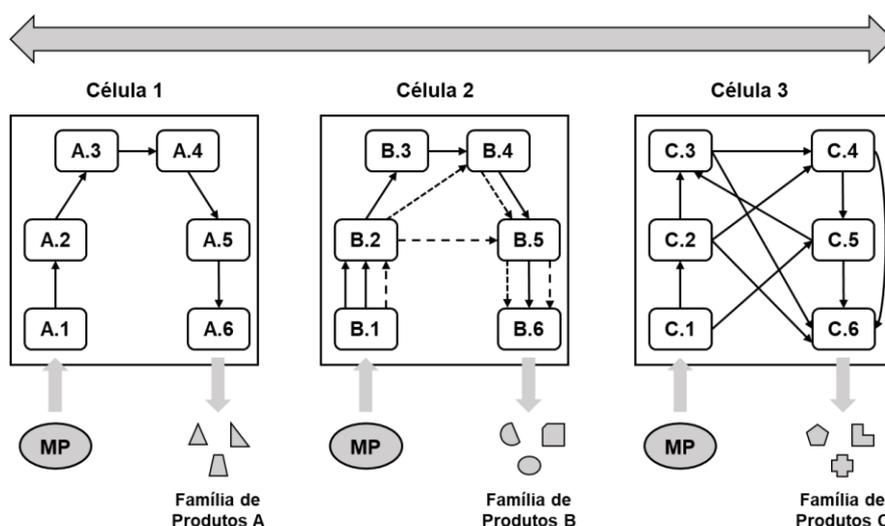
#### 2.2.1.4 Layout Celular

Conforme observado por Squilante Júnior (2019) e Silvestre et al. (2023), Ribeiro (2023) esse modelo de arranjo físico busca harmonizar flexibilidade com elevada produtividade. Para alcançar esse objetivo, são formadas células de produção, que consistem em configurações físicas, onde máquinas estão dispostas de modo a processar um conjunto específico de peças, que compartilham semelhanças em seus processos de fabricação, denominadas como uma "família de peças". Assim, as células demonstram a capacidade de produzir lotes de peças, com níveis de produtividade superiores em comparação com os arranjos do tipo *job shop*.

Squilante Júnior (2019), traz um exemplo, referente a figura 8 que ilustra três células de produção diferentes. Onde é possível observar que a célula 1 tem um *layout* em forma de “U” que se assemelha a um *layout* por produto. Por sua vez, a célula 2 tem produtos com pequenas diferenciações em suas rotas, migrando para processo. No caso da célula 3, observa-se nitidamente que se trata de um *layout* mais voltado para processo, em que os produtos têm rotas diferenciadas.

O êxito das células está em agrupar os produtos em famílias de forma adequada. Para isso, costuma-se utilizar a técnica denominada Tecnologia de Grupo, comumente aplicada para a formação de células de manufatura (FIGUEIREDO, 2016).

Figura 8 – *Layout* Celular

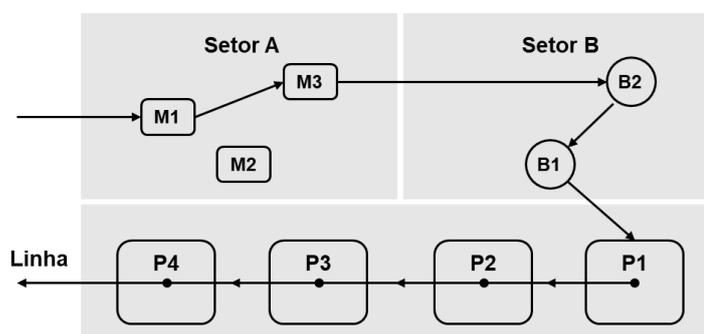


Fonte: Adaptado de Neumann e Scalice (2015, cap. 14).

### 2.2.1.5 Layout Misto

Os *layouts* mistos, também conhecidos como híbridos ou combinados, conforme a própria nomenclatura indica, representam a fusão de distintos arranjos físicos para criar um formato de organização espacial. Como ilustrado na figura 9, o exemplo demonstra essa abordagem, onde um arranjo funcional é adotado com máquinas de características similares agrupadas nos setores A e B, coexistindo com uma linha de produção em série, como apontado por Squilante Júnior (2019), Silvestre et al. (2023), Ribeiro (2023) e observado no estudo de Duarte (2020).

Figura 9 – Layout misto



Fonte: Adaptado de Martins e Laugeni (2015, p. 147).

Geralmente são adotados em situações onde se busca equilibrar os benefícios de diferentes tipos de arranjo físico, aproveitando as vantagens de cada um para maximizar a eficiência operacional. Essa abordagem é comum em indústrias que produzem tanto em larga escala quanto sob demanda, exigindo flexibilidade e produtividade ao mesmo tempo (SQUILANTE JÚNIOR, 2019).

## 2.2.2 PLANEJAMENTO E PROJETO DE LAYOUT

Conforme Silva (1983) afirma e o trabalho de Mesquita et. al (2018) exemplifica que, o arranjo físico desempenha um papel significativo em empreendimentos, exercendo influência direta tanto na realização quanto na qualidade dos serviços, podendo torná-los mais ou menos eficientes. Vieira (1979), por sua vez, ressalta a recomendação de planejar o arranjo físico em empreendimentos de qualquer porte e natureza, pois essa prática conduz à redução dos custos operacionais e ao aumento da produtividade, conforme observa-se no trabalho de Silva (2021).

Silva (1983) e Silva (2021) ainda observam que, apesar da aparente simplicidade envolvida na concepção de um arranjo físico, que à primeira vista requer apenas a aplicação de bom senso na utilização dos espaços disponíveis, algumas empresas negligenciam a definição de um *layout* que promova o fluxo racional das atividades. Muitas vezes, limitam-se a movimentar máquinas, equipamentos e mobiliário até alcançarem uma disposição que pareça adequada. Como apontam Slack, Chambers e Johnston (2009), mesmo pequenas alterações, como o reposicionamento de uma máquina, podem ter impactos significativos no fluxo operacional e, conseqüentemente, na eficácia global da produção.

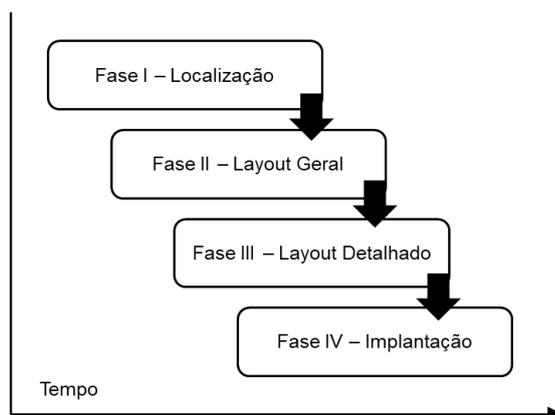
Silva (1983), salienta que a ausência de um planejamento adequado resulta em diversas consequências prejudiciais, como a perda de tempo, a ociosidade de equipamentos e a interrupção do processo produtivo. Além disso, pode levar à subutilização de áreas, gerando custos elevados relacionados a reorganizações, demolições de edifícios, paredes ou estruturas que poderiam ter sido aproveitadas. A dedicação de tempo ao planejamento do arranjo físico, antes de sua implementação, serve como uma medida preventiva, impedindo que essas perdas assumam proporções significativas e assegurando que todas as modificações se integrem de maneira coesa e alinhada com o programa global, como enfatizado por Muther (1978) e Baptista (2022).

Segundo Muther (1978), os desafios relacionados ao arranjo físico estão, em geral, ligados a dois elementos fundamentais: o produto e/ou sua quantidade. Esses elementos desempenham papéis cruciais na concepção do *layout*, e devem ser cuidadosamente analisados, juntamente com informações essenciais sobre o processo de produção. Além disso, é imperativo levar em consideração aspectos como o dimensionamento do tempo de operação e entrega, bem como a incorporação de serviços ou áreas de apoio à produção para um planejamento abrangente e eficaz, conforme observa-se no estudo de Battissacco (2021).

Muther (1978) e Ferreira (2021), ainda apresentam quatro fases para o planejamento do *layout*: localização, arranjo físico geral e arranjo físico detalhado.

- Fase I compreende a localização da área para o planejamento das instalações, normalmente associada ao terreno do empreendimento;
- Fase II estabelece a posição relativa entre as diversas áreas;
- Fase III envolve a localização de cada máquina e equipamento.
- Fase IV é realizado o planejamento da execução das atividades, movimentações de equipamentos, a fim de que sejam instalados conforme o planejamento.

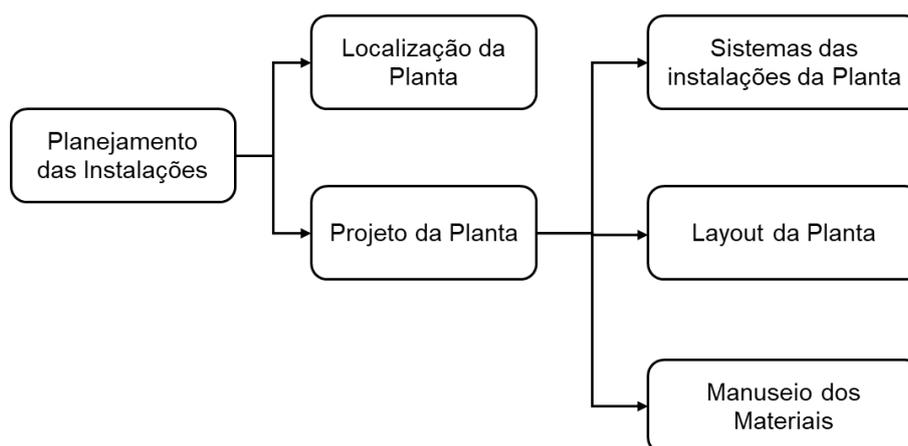
Na Figura 10 apresentam-se as etapas do planejamento do *layout*, conforme o tempo estimado de execução das fases.

Figura 10 – Etapas do planejamento do *layout*

Fonte: Adaptado de Muther (1978).

Em uma abordagem mais estruturada, o planejamento do *layout* percorre um processo composto por sete fases distintas, conforme delineado por Silva (1983): levantamento, elaboração de diagramas básicos, dimensionamento de áreas funcionais, formulação de propostas, seleção das melhores propostas, implementação e monitoramento dos resultados. Tompkins et al. (2013) expande esse conceito e Polak (2022), exemplifica através do seu trabalho, destacando que o planejamento das instalações requer uma série de etapas, incluindo localização, projeto, sistema de instalações, arranjo físico e gestão de materiais, conforme ilustrado na Figura 11.

Figura 11 – Etapas do planejamento de instalações



Fonte: Adaptado de Tompkins et al. (2013).

Para a elaboração de um *layout* ou arranjo físico é importante observar os principais fatores a serem considerados, como: material; máquinas; mão de obra; movimentação; armazenamento; edifício; mudanças possíveis; serviços auxiliares; legislações e normas vigentes relativas ao meio ambiente; processos produtivos e produto (BORGES, 2001; VERGARA et. al, 2016). Qualquer *layout* depende dos

objetivos estratégicos da operação em execução. No quadro 1, a seguir, destacam-se os requisitos gerais e relevantes.

Quadro 1 – Requisitos para um bom *layout*

REQUISITOS	DESCRIÇÃO
Segurança Inerente	Todos os processos que possam representar perigo devem ter acesso restrito aos autorizados. Saídas de emergências devidamente sinalizadas e desobstruídas.
Extensão do fluxo	Minimizar distâncias percorridas pelos materiais a serem transformados e com fluxo constante, evitando cruzamentos e retorno de materiais.
Clareza no fluxo	Todo o fluxo de materiais deve ser sinalizado, podendo ser por meio de demarcações pintadas no piso, indicando rotas.
Conforto para os funcionários	Evitar localizar os funcionários próximos a áreas barulhentas ou desagradáveis da operação. O leiaute deve favorecer um ambiente bem iluminado e ventilado, sempre que possível agradável (limpo e organizado).
Acessibilidade	Todos os equipamentos, máquinas e instalações devem apresentar um nível de acessibilidade suficiente para limpeza e manutenção adequada.
Uso do espaço	Todos os leiautes devem permitir o uso adequado do espaço disponível para a operação, ou seja, fazer uso da área de piso e altura.
Flexibilidade	O layout deve ser flexível a futuras modificações conforme haja necessidade da operação, como por exemplo, demanda de produto ou serviços.

Fonte: Adaptado de Vieira (1979) e Slack, Chambers e Johnston (2009).

O *layout* relaciona-se ao tipo de processo, por meio da característica de volume ou variedade da operação que definirá o processo, organizando as atividades e processos de produção que melhor se adequa a realidade da empresa (MUTHER, 1978; SLACK, CHAMBERS, JOHNSTON, 2009; BORELLI, 2021). Os tipos básicos de *layout* são geralmente classificados em quatro: posicional; funcional; celular e produto.

O *layout* posicional, também referido como *layout* de posição fixa, em certa medida, apresenta uma contradição aparente, uma vez que, nesse arranjo, o produto permanece estacionado, enquanto funcionários, equipamentos e máquinas são deslocados, conforme necessário (VIEIRA, 1979; SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009; SILVA, 2020). Conforme observado por Muther (1978), essa configuração é adotada quando o produto em questão possui dimensões volumosas.

O *layout* funcional, segundo Slack, Chambers Johnston (2009), Rosa (2014) e Silva (2020) é aquele que se conforma às necessidades e conveniências das funções desempenhadas pelos recursos transformadores que constituem o processo, ou seja, recursos ou processos similares são localizados juntos, também é comumente chamado de *layout* por processo.

O *layout* celular é caracterizado pelo direcionamento de recursos transformados para áreas específicas da operação, conhecidas como "células", onde

todos os outros recursos transformadores necessários para atender às suas demandas de processamento estão convenientemente agrupados. A organização interna da célula pode seguir um arranjo físico, baseado em processos ou produtos. Após o processamento na célula, os recursos transformados podem ou não ser encaminhados para outra célula. O arranjo físico celular representa uma abordagem, que visa impor uma maior organização ao complexo fluxo presente no arranjo físico por processo (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009; FREITAS, 2016; SILVA, 2020).

O *layout* por produto, também é chamado de *layout* em linha ou fluxo, é geralmente aplicado em indústrias de montagem, porque as máquinas são arranjadas na sequência das operações a serem realizadas. O material move-se, enquanto as máquinas permanecem fixas. Geralmente é a uniformidade dos requisitos do produto ou serviço que leva a operação a escolher este tipo de *layout*. (VIEIRA, 1979; SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009; SILVA, 2020). Na Figura 12, apresenta-se a relação entre os tipos de processo e tipos de *layout*.

Figura 12 – Relação entre o tipo de processos e tipos de *layout*

Tipo de Processo de Fabricação	Tipo de Layout Básico	Tipo de Processo de Serviço
Processo do Projeto	Posição fixa do Layout	Serviços profissionais
Processo do Trabalho	Processo do Layout	Serviços de Lojas
Lote do Processo	Layout da Célula	Fluxos de Serviços
Fluxo de Processo	Layout do Produto	
Processo Contínuo		

Fonte: Adaptado de Slack, Chambers e Johnston (2009).

Na maioria dos casos, a escolha do tipo de *layout* é definida pelas características de volume e variedade da operação. Ainda assim, mais de um tipo *layout* pode atender as necessidades de um mesmo tipo de processo. Por este motivo, após uma análise prévia de quais opções de *layout* são possíveis para a

operação, devem ser consideradas as vantagens e desvantagens de cada uma das opções para a operação. (MUTHER, 1978; SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009; FREITAS, 2016; SILVA, 2020). O Quadro 2, resume de forma breve as vantagens e desvantagens de cada tipo de *layout*.

Quadro 2 – Vantagem e desvantagem dos tipos de *layout*

Layout	Vantagens	Desvantagens
Posicional	Flexibilidade muito alta de mix e produto Produto ou cliente não movido ou perturbado Alta variedade de tarefas para a mão-de-obra	Custos unitários muito altos Programação de espaço ou atividades pode ser complexa Pode significar muita movimentação de equipamentos e mão-de-obra
Funcional	Alta flexibilidade de mix e produto Relativamente robusto em caso de interrupção de etapas Supervisão de equipamento e instalações relativamente fácil	Baixa utilização de recursos Pode ter alto estoque em processo ou filas de clientes Fluxo completo pode ser difícil de controlar
Celular	Pode dar um bom equilíbrio entre custos e flexibilidade para operações com variedade relativamente alta Atravessamento rápido Trabalho em grupo pode resultar em melhor motivação	Pode ser caro reconfigurar o arranjo físico atual Pode requerer capacidade adicional Pode reduzir níveis de utilização de recursos
Produto	Baixos custos unitários para altos volumes Dá oportunidade para especialização de equipamento Movimentação conveniente de clientes e materiais	Pode ter baixa flexibilidade de mix Não muito robusto contra interrupções Trabalho pode ser repetitivo

Fonte: Adaptado de Slack, Chambers e Johnston (2009).

### 2.2.2.1 Planejamento Sistemático de *Layout*

De acordo com Muther (1978) e exemplificado através de um estudo de caso no trabalho de Diniz et. al (2022), existem cinco elementos imprescindíveis sobre os quais o *layout* é planejado, são eles:

- a) **Produto (P)**: se refere ao que é fabricado ou produzido.
- b) **Quantidade (Q)**: indica o quanto de cada item é produzido.
- c) **Roteiro (R)**: envolve os processos, suas operações, equipamentos e sequência.
- d) **Serviço de suporte (S)**: se refere aos recursos, atividades ou funções auxiliares que devem suprir a área em questão e que lhe darão condições de funcionamentos efetivos.
- e) **Tempo (T)**: define a duração, a frequência e os prazos associados às operações e processos.

O produto (P) e a quantidade (Q) representam os elementos-chave que determinam as principais características do arranjo físico. As decisões fundamentais

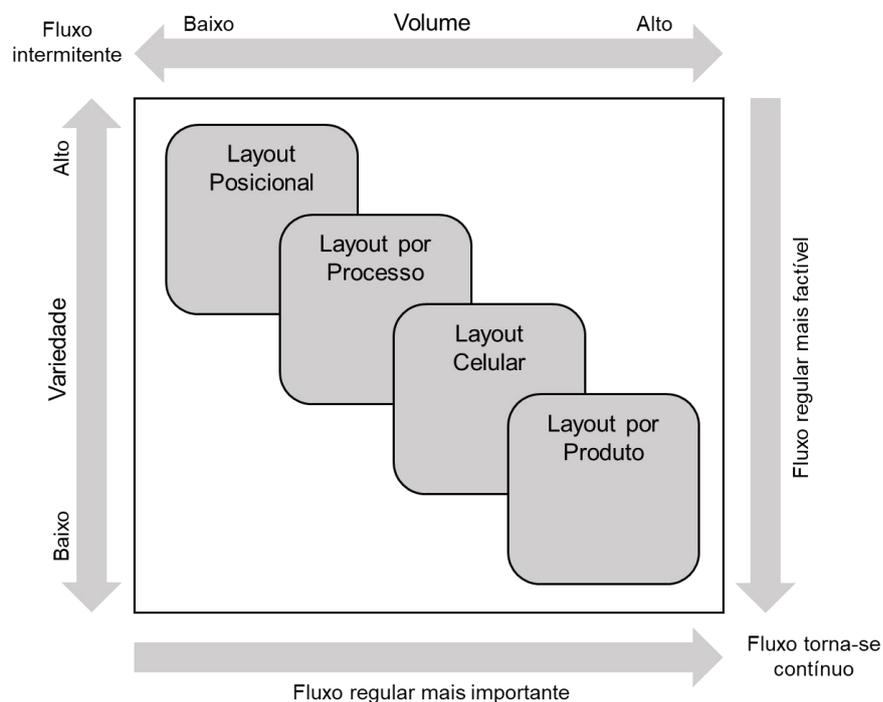
relacionadas ao *layout* de uma instalação, dependem consideravelmente da quantidade total de produtos a serem fabricados e da quantidade específica de cada tipo de produto que será produzido.

O roteiro (R) assume um papel de significativa relevância, pois descreve o processo de produção de itens, abordando as etapas de transformação e a sequência precisa em que essas transformações devem ser executadas. A definição do roteiro pode ocorrer por meio de diversos métodos, como a elaboração de listas de operações e equipamentos, a utilização de cartas de processo e a criação de gráficos de fluxo.

Os serviços de suporte (S) abrangem atividades que não estão diretamente relacionadas à produção dos itens, mas que desempenham um papel crucial no funcionamento eficaz da organização. Esses serviços englobam uma variedade de áreas, tais como manutenção e reparo de máquinas, instalações sanitárias, serviços de alimentação, atendimento de primeiros socorros, setores de expedição e recebimento, escritórios e espaços de armazenamento.

O elemento tempo (T) aborda aspectos relacionados ao "como" e ao "quando" da produção, considerando tanto a programação das atividades, quanto a execução do projeto de arranjo físico, bem como o tempo total de operação. Quando as organizações almejam maximizar a eficiência da utilização de seus recursos, o fator tempo assume um papel central no planejamento do arranjo físico.

Para Slack, Johnston, Chambers (2009), os processos são divididos conforme a relação P-Q, ou seja, diversificação de produtos e volume. Na Figura 13 são apresentados os tipos de processos, em ordem crescente de volume e decrescente de variedade.

Figura 13 – Relações volume, variedade e *layout*

Fonte: Adaptado de Slack, Chambers e Johnston (2009).

Também segundo Slack, Johnston, Chambers (2009), exemplificado no trabalho de Silva (2019), estes são os conceitos envolvidos:

- a) **Processo de Projeto:** Este processo é caracterizado por produtos discretos, frequentemente personalizados, com longos tempos de produção. Ele oferece flexibilidade significativa, em relação às atividades realizadas durante a produção, e sua essência reside na conclusão clara de cada produto, desde o início até o término. Os recursos transformadores são geralmente configurados de maneira específica para cada produto.
- b) **Processo de *Jobbing*:** Similar em alguns aspectos ao processo de projeto, o processo de *jobbing* envolve a alocação de recursos compartilhados entre produtos. Embora todos os produtos exijam a mesma atenção, eles variam em suas necessidades específicas. Geralmente, esse processo resulta em uma produção maior de itens, geralmente de menor porte em comparação ao processo de projeto.
- c) **Processo em Lote ou Batelada:** Conforme o nome sugere, neste processo, mais de um produto é fabricado ao mesmo tempo. O tamanho dos lotes pode variar, desde pequenos, com apenas dois ou

três produtos, assemelhando-se ao processo de *jobbing*, especialmente quando cada lote representa um novo produto, até grandes lotes, quando os produtos são familiares à operação e o processo é relativamente repetitivo. O processo em lote, portanto, pode abranger uma ampla gama de níveis de volume e variedade.

- d) **Processo em Massa:** Este processo é altamente repetitivo e previsível, caracterizado pela produção de grandes volumes de bens, com uma variedade relativamente estreita em termos de aspectos fundamentais de *design* do produto. As diferenças entre as variantes dos produtos, não afetam substancialmente o processo de produção básico.
- e) **Processo Contínuo:** Situando-se um passo além do processo em massa, o processo contínuo opera com volumes ainda maiores e uma variedade menor. Geralmente, funciona continuamente por longos períodos, às vezes de forma literal, com produtos inseparáveis e fluxo ininterrupto. Esse processo está frequentemente associado a tecnologias inflexíveis, intensivas em capital, com um fluxo altamente previsível.

Muther (1978), propôs um método sistemático de análise de projeto de *layout* funcional, que se tornou muito popular e usual, conhecido por método *SLP*, “*Systematic Planning Layout*” ou Sistemática de Planejamento de *Layout*. O modelo *SLP* se baseia nos seguintes conceitos fundamentais e são exemplificados pelos trabalhos de Lazarotto (2020), Negrão et. al (2019):

- a) Inter-relação entre setores: Este fator ressalta a relevância da proximidade entre as atividades dentro do arranjo, enfatizando como as relações espaciais entre diferentes setores, podem influenciar a eficiência operacional.
- b) Espaço necessário: Esta diz respeito à determinação precisa das dimensões, tipos e configurações dos itens que serão posicionados em cada área, levando em consideração suas características individuais.
- c) Adaptação às necessidades e restrições: Esse aspecto destaca a importância de ajustar o estudo, de acordo com as necessidades

específicas e quaisquer limitações impostas, visando organizar as áreas e os equipamentos da maneira mais eficaz possível.

No Quadro 3, apresentam-se etapas do sistema de planejamento SLP através de uma tabela.

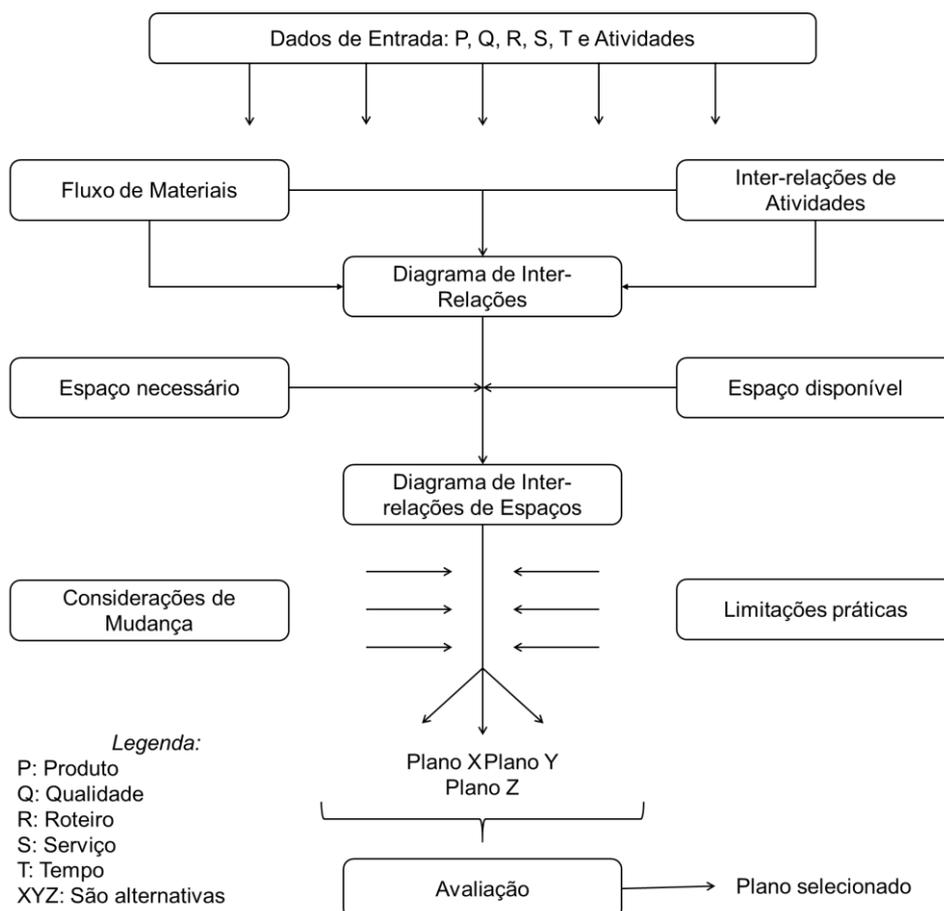
Quadro 3 – Etapas do planejamento SLP

	Etapas	Possíveis Ferramentas
1	Análise de fluxos de produtos ou recursos	Diagrama de fluxo ou Diagrama “de-para”
2	Identificação e inclusão de fatores qualitativos	Diagrama de atividades
3	Avaliação dos dados e arranjos de áreas de trabalho	Diagrama de arranjo de atividades
4	Determinação de um plano de arranjo dos espaços	Diagrama de relações de espaço
5	Ajuste do arranjo disponível	Planta do local e Modelo (template)

Fonte: Adaptado de Corrêa, Corrêa (2009).

Na Figura 14, está apresentado o resumo das etapas e dos procedimentos do sistema de planejamento SLP.

Figura 14 – Etapas do planejamento SLP



Fonte: Adaptado de Muther (1978).

Para Muther (1978) e Oliverio (1985), nove fatores devem ser ponderados para obter-se um bom *layout*: material, infraestrutura, equipamentos, mão de obra,

movimentação, esperas, serviços, edifício, mudanças, estes fatores são observados no trabalho de Borges et. al (2019).

Conforme afirmado por Slack, Chambers e Johnson (2002), Borges et. al (2019) o Diagrama de Processo desempenha um papel essencial na documentação do processo em análise, permitindo o registro das sequências de tarefas e das relações temporais entre diversas etapas do trabalho, bem como o deslocamento de pessoal, informações ou materiais de trabalho. Para essa finalidade, são empregadas três técnicas, conforme detalhado no Quadro 4.

Quadro 4 – Tipos de diagrama de processos

Processo	Descrição
Diagrama de Processo Global	É a confecção de um Diagrama de Fluxo de Processo. Nele utilizam-se apenas os símbolos de operação e inspeção.
Diagrama de Fluxo de Processo	Registra-se a sequência do processo e descreve todos os eventos que ocorrem neste processo. Esta descrição localiza-se ao lado direito do símbolo que representa cada atividade. Nela, estão inseridas as informações do que é feito em cada atividade, o tempo de execução prevista ou realizada.
Diagrama de Processo de Duas Mãos ou Gráfico de Operações	Representa a sequência de processo de um posto de trabalho, que se utiliza de trabalho manual, utilizando os mesmos princípios dos diagramas de processos globais e fluxos de processo. Utilizam-se os mesmos símbolos, porém o símbolo de atraso indica que a mão do operador está esperando para realizar sua próxima tarefa, e o símbolo de estocagem é utilizado quando a mão do operador está segurando uma peça ou documento.

Fonte: Adaptado de Slack, Chambers e Johnson (2009).

Para o fluxo de materiais utiliza-se o diagrama montado de Produto por Quantidade, denominado Diagrama (P-Q), como base para escolher o método mais adequado para se fazer a diagnóstico do fluxo de materiais (BORGES, et. al, 2019). No Quadro 5 apresentam-se três técnicas.

Quadro 5 – Tipo de diagramas para o fluxo de materiais

Processo	Descrição
Carta de Processos	Utiliza-se para poucos produtos de grande volume de produção. É a descrição do processo de fabricação em um fluxograma que utiliza símbolos apropriados, faz o caminho da matéria prima até a expedição do produto acabado.
Carta de Processos Múltiplos	Aplica-se para produtos numerosos e processos semelhantes e quando não há montagem. Semelhante ao método anterior, mas descreve várias linhas de produção paralelamente, para isso devem possuir processos de fabricação semelhantes. Os produtos são listados na horizontal e os processos na vertical.
Carta De-Para	Utiliza-se para muitos produtos altamente diversificados e de baixo volume. É necessário listar todas as operações do processo produtivo e colocá-las na mesma sequência no eixo da horizontal e da vertical.

Fonte: Adaptado de Slack, Chambers e Johnson (2009).

De acordo com Muther (1978), e exemplificado no trabalho de Borges et. al (2019), para se elaborar um *layout* de um empreendimento ou processo produtivo, além do estudo do fluxo de materiais, é importante realizar a análise da relação entre

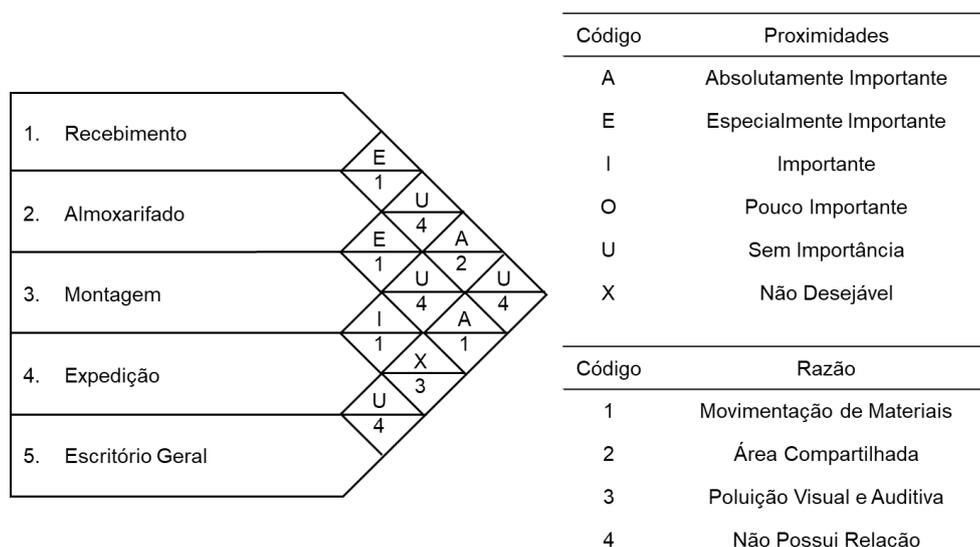
os setores. Esta relação é obtida através da Carta de Interligações ou inter-relações preferenciais. Com este documento, podem-se integrar serviços de apoio aos departamentos de produção, observando o nível de relação entre atividades, sua importância e justificativa.

A carta de inter-relação, também conhecida como mapa de relacionamento, é composta por uma matriz triangular, que expressa o nível de proximidade e a razão de importância entre cada par de atividades, áreas ou funções. A lista de setores que compõem o *layout* é apresentada nas linhas da matriz, enquanto as interseções dentro da parte triangular da matriz registram as relações ou afinidades entre esses setores (MUTHER, 1978; NEUMANN, SCALICE, 2015; BORGES, 2019).

As justificativas para a proximidade são documentadas na parte inferior da matriz. As inter-relações são categorizadas com as letras A, E, I, O, U e X, representando os diferentes graus de importância entre os setores (MUTHER, 1978; NEUMANN, SCALICE, 2015; BORGES, 2019).

Como exemplos de sua aplicação incluem a metodologia da carta de multiprocessos e o diagrama de relacionamento, utilizados por Silva e Moreira (2009) na reformulação do *layout* de uma empresa do setor moveleiro, bem como a proposta de melhoria no *layout* de uma estofaria por Brito et al. (2016), assim como a definição de um arranjo físico apropriado em uma empresa de confecção de mármore por Rodrigues et al. (2023). A Figura 15 ilustra a metodologia da carta de inter-relações preferenciais.

Figura 15 – Carta de inter-relações preferências



Fonte: Adaptado de Muther (1978).

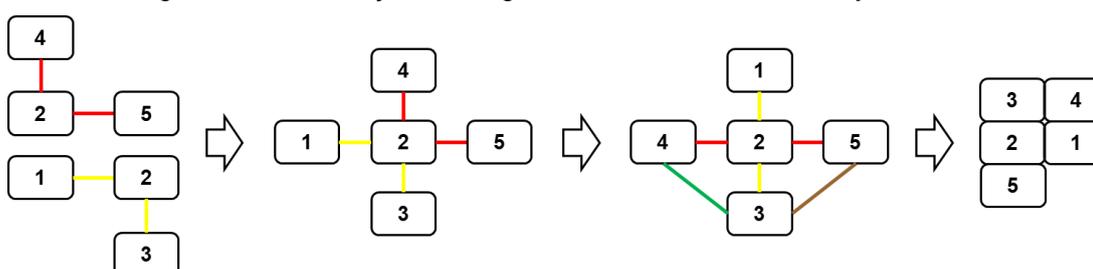
A partir disto, é possível elaborar o diagrama de relacionamento. Nesta etapa, geralmente utilizam-se símbolos, para representar as atividades, e códigos de linha, para indicar o grau de proximidade entre estas, conforme observa-se o Quadro 6. Na Figura 16, está ilustrado uma breve construção do diagrama de relacionamento e consequentemente o *layout* inicial, conforme a convenção e a carta de inter-relação (BORGES et. al, 2019).

Quadro 6 – Convenção de proximidades

Classificação	Inter-Relação		Cor
A	Absolutamente necessária	=====	Vermelho
E	Muito importante	====	Amarelo
I	Importante	===	Verde
O	Pouco importante	---	Azul
U	Desprezível		-
X	Indesejável	~~~~~	Marrom

Fonte: Adaptado de Muther (1978), Neumann e Scalice (2015).

Figura 16 – Construção do Diagrama de relacionamento e *layout* inicial



Fonte: Adaptado de Muther (1978).

Inicialmente são realizadas separadamente as relações (A e E), em vermelho e amarelo. Depois são agrupadas. Logo, são adicionadas as relações (I e O) e as demais se forem necessárias, conforme cada *layout*. Deve-se evitar a sobreposições das linhas, portanto as modificações são feitas quantas vezes forem necessárias. Sendo assim, tem-se a localização dos setores para serem transferidos para o *layout* (BORGES et. al, 2019).

De acordo com Côrrea e Côrrea (2009) e Faria (2022), a determinação do espaço segue um processo semelhante à etapa anterior, porém, agora são levadas em consideração as áreas, as quais são representadas por retângulos proporcionais às dimensões requeridas por cada setor. Conforme a perspectiva de Neumann e Scalice (2015), é possível sobrepor o diagrama de relacionamento sobre esses retângulos que representam as áreas. (MUTHER 1978; CORRÊA, CORRÊA, 2009; NEUMANN, SCALICE, 2015).

O levantamento da necessidade de área física é essencial para a elaboração de um bom arranjo físico. A fim de definir as áreas necessárias, é substancial estabelecer espaços para as atividades envolvidas e ajustá-los conforme o diagrama de inter-relação e/ou fluxo. Para realizar o cálculo das áreas de maneira precisa, é crucial identificar as máquinas e equipamentos utilizados na empresa. Quando necessário, é viável documentá-los em fichas apropriadas, as quais devem incluir informações como as dimensões dos produtos, a área requerida, as necessidades de suprimento, especificações técnicas e outros detalhes relevantes (ROCHA, 2011; LAZAROTTO, 2020; FARIA, 2022).

A somatória dos espaços necessários deve ser igual ou menor ao espaço disponível. Caso contrário, devem ser tomadas medidas para ampliar as instalações, que podem ser feitas aumentando horas de trabalho, melhorando processos, quando possível verticalizando a produção e armazenagem etc. (ROCHA, 2011; LAZAROTTO, 2020; FARIA, 2022).

O Diagrama de Inter-relações entre Espaços faz uso tanto do diagrama de fluxo, quanto das áreas requeridas para cada atividade. Para determinar o espaço necessário para cada setor de produção, segue-se uma série de etapas conforme descritas no Quadro 7, após a definição das afinidades entre as atividades (ROCHA, 2011).

Quadro 7 – Etapas para a definição do espaço

Etapas	Descrição
I - Planejamento do Espaço	Todo o espaço necessário é planejado: espaços para máquinas e respectivas manutenções, o fluxo de pessoas e materiais são verificados para satisfazerem esta necessidade.
II - Planejamento Primitivo do Espaço	Logo após é realizado é verificada a disposição das unidades com a integração das suas necessidades de espaço, baseada no Diagrama de Configurações.
III. Análise das Limitações	Após são verificadas as limitações do leiaute, que são as condições que interferem na elaboração de um plano ideal de espaço. Por exemplo, o formato da edificação.
IV. Planejamento do Macro-Espaço	A partir deste momento, espaço pode ser definido. Lee (1998) considera que a planta baixa do local onde será instalado ou reelaborado o novo leiaute é de suma importância nesta etapa do processo. Todas as limitações do projeto também devem estar bem definidas e analisadas, para que se tenha um processo eficaz.

Fonte: Adaptado de Rocha (2011).

Sobre o Planejamento de *Layout* na indústria de autopeças, o trabalho de Lima (2009), apresenta os resultados obtidos através do desenvolvimento de propostas de mudança de *layout* de uma célula de produção de uma empresa de

autopeças, através da aplicação de diversas ferramentas da engenharia de produção e *layout*, com o objetivo de redução dos desperdícios (movimentação, entre outros).

O trabalho de Dalmas (2004), avalia o *layout* celular implementado em uma empresa de autopeças no Rio Grande do Sul, como o objetivo de propor um novo *layout*, através da utilização de uma metodologia para formação de células na definição do *layout*, com vistas à melhoria do desempenho através da flexibilidade, otimização do tamanho de células e das habilidades multifuncionais da equipe.

Moura et al. (2021), utilizou do *SLP* na busca de um novo *layout* de produção, com características produtivas otimizadas em uma empresa da área têxtil. Como resultado, constatou-se a importância de se analisar os modelos de *layouts* produtivos, onde o *layout* proposto no trabalho foi projetado, de modo a utilizar o espaço disponível, além de projetar os maquinários e postos de trabalho a fim de promover um fluxo eficiente, reduzindo assim a movimentação desnecessária de materiais e pessoas.

Penna (2023), argumenta através do seu trabalho a importância do arranjo físico das organizações, uma vez que os recursos destas, desde o início de suas operações, são destinados primeiramente a equipamentos e instalações físicas, para atender as características produtivas necessárias, e assim manter elevados indicadores de produtividade. Sendo assim, o estudo de Penna (2023), tem como objetivo propor um arranjo físico celular, baseado nos conceitos da manufatura enxuta, com o intuito de melhorar os indicadores de produtividade, tendo como resultado pretendido o respectivo aumento de produtividade.

Para alcançar tais objetivos, Penna (2023) realizou o planejamento do *layout* utilizando uma metodologia denominada de *Fac Plan*, na qual se trata de um processo sistemático de planejamento de *layout* que se divide em etapas com responsabilidades e prazos definidos para cada uma. Ainda, este método leva em consideração, tanto aspectos quantitativos quanto qualitativos relacionados ao projeto, além disso, considera também as características individuais das estações de trabalho até a localização global da empresa.

A partir desta metodologia o autor propõe um cenário que reduziria os desperdícios e melhoraria o processo produtivo. Para validar o *layout* proposto, o autor utilizou da simulação de eventos discretos com o *software Plant Simulation*,

onde foi realizado o tratamento dos dados, como a modelagem e a geração dos resultados (PENNA, 2023).

### 2.2.3 SISTEMA DE PRODUÇÃO

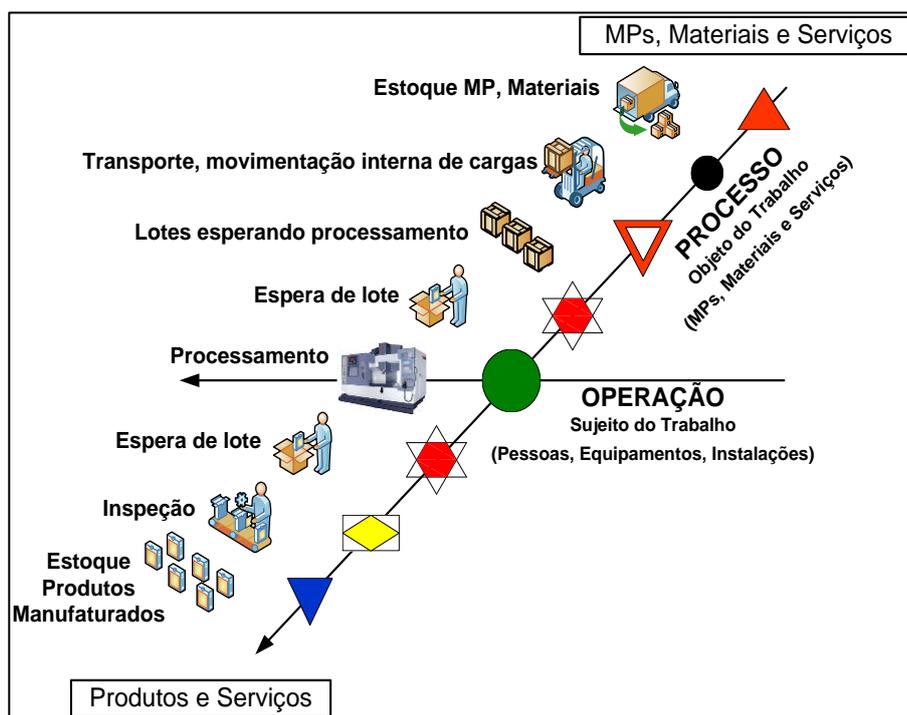
De acordo com Skinner (1974), os sistemas de produção das empresas podem ser entendidos como uma “arma competitiva”, e que, é por meio de suas operações produtivas que as empresas podem atingir seus objetivos diante da concorrência (SCHMIDT, 2019).

Os sistemas de produção podem ser compreendidos, como um conjunto de componentes interligados, que colaboram harmoniosamente na busca de uma meta comum. Eles recebem as entradas do sistema, representadas como insumos, e por meio de processos organizados, convertem-nas em resultados, representando as saídas do sistema (ANTUNES et al., 2008; ANTUNES et al., 2022). O autor também ressalta que os sistemas de produção desempenham um papel fundamental, na criação efetiva de valor aos produtos, pois são responsáveis pela transformação do objeto de trabalho, seja a partir de uma matéria-prima inicial ou de um componente intermediário, em um produto acabado ou em um componente final.

Shingo (1996), ressalta a importância dos diferentes sistemas de produção desenvolvidos, os quais podem ser guias muito importantes, para determinar qual direção seguir na concepção ou reestruturação dos sistemas de produção. Desta forma suas inovações na produção, servem como base para os atuais sistemas e por isso não podem ser ignoradas, conforme pode-se observar no trabalho de Schmidt, 2019.

De acordo com Bösenberg e Metzen (2005), Albuquerque (2020), os sistemas de produção estabelecem a estrutura e o esquema organizacional, onde as regras organizacionais são delineadas. Conforme Shingo (1996), é possível conceber qualquer sistema de produção como uma rede funcional composta por diversos processos e operações interligados. Uma representação esquemática da abordagem da estrutura de produção, visualizada como uma rede que conecta esses processos e operações, é apresentada na figura 17.

Figura 17 – Estrutura dos Sistemas de Produção



Fonte: Adaptado de Shingo (1996), Antunes (2008) e Schmidt (2019).

Ainda, segundo Shingo (1996), é possível identificar melhorias, em processos produtivos, por meio do mapeamento das atividades, descrevendo todas as rotinas e, para cada parte do processo, destinar um símbolo diferente. Com o auxílio dos símbolos, a compreensão das atividades é facilitada, independente da forma ou da quantidade de execuções, indicando, assim, qual atividade está sendo realizada e se ela está ou não agregando valor (SCHMIDT, 2019). A Figura 14, apresenta a simbologia do mecanismo da função produção.

A abordagem pioneira apresentada por Shingeo Shingo, em 1945, propõe uma perspectiva dos sistemas produtivos como redes, onde os processos são representados no eixo X e as operações no eixo Y. Em outras palavras, essa abordagem oferece uma visão dos sistemas produtivos, que combina o rastreamento do fluxo de materiais ao longo do tempo e do espaço, juntamente com o monitoramento do fluxo de pessoas, equipamentos e dispositivos, igualmente no contexto temporal e espacial (ANTUNES et al., 2008; SCHMIDT, 2019).

Ainda, de acordo com Antunes et al. (2008) e Schmidt (2019), a Função Processo pode ser descrita como um fluxo contínuo e integrado de materiais, serviços ou até mesmo ideias, que ocorre ao longo do tempo e do espaço. Os

componentes que compõem a Função Processo são mostrados na figura 18, a seguir:

Figura 18 – Simbologia do Mecanismo da Função Produção



Fonte: Adaptado de Shingo (1996) e Schmidt (2019).

- **Processamento:** Refere-se à transformação dos materiais, como usinagem, pintura ou fusão, que se caracteriza por alterações na qualidade do objeto de trabalho.
- **Inspeção:** Envolve a comparação do objeto de trabalho com um padrão predefinido.
- **Transporte:** Implica na modificação da posição ou localização do objeto de trabalho.
- **Estocagem ou Espera:** Correspondem a períodos em que não ocorre nenhum tipo de processamento, transporte ou inspeção sobre o objeto de trabalho (ANTUNES et al., 2008, SCHMIDT, 2019).

O estudo das esperas é primordial, porque as esperas acarretam consequências problemáticas na Fábrica como: longos tempos de atravessamento e o aumento do nível de defeitos e retrabalhos (ANTUNES et al., 2008).

A Função Operação se refere ao acompanhamento das pessoas e equipamentos no decorrer do tempo e do espaço (ANTUNES et al., 2008). Shingo baseou-se nas proposições de Taylor, que abordaram essa questão de forma abrangente. As operações podem ser subdivididas da seguinte maneira:

- **Preparação:** Envolve os ajustes realizados após a conclusão de uma operação, conhecidos como operações de preparação, como o setup.
- **Operação Principal:** Compreende as atividades essenciais diretamente relacionadas aos processos de processamento, inspeção, transporte e espera. A operação principal pode ser subdividida em duas subcategorias: operações essenciais e operações auxiliares.
- **Folgas não ligadas ao pessoal:** Referem-se a períodos em que os operadores não estão envolvidos nas atividades principais. As causas dessas folgas, geralmente estão relacionadas a operações irregulares e imprevistas que ocorrem durante a produção.
- **Folgas ligadas ao pessoal:** Caracterizam-se por trabalhos irregulares diretamente associados às pessoas e não relacionados às máquinas ou operações em si (ANTUNES et al., 2008, SCHMIDT, 2019).

Para avaliar as melhorias nos sistemas produtivos, é crucial abordar questões de natureza econômico-financeira e de mensuração nos contextos econômicos. Isso requer uma compreensão mais abrangente dos aspectos relacionados à economia da empresa. Diversas variáveis ligadas à estrutura e operação de uma empresa industrial exercem influência sobre as demandas de capital. Destacam-se, entre essas variáveis (ANTUNES et al., 2008, SCHMIDT, 2019):

- Estoques globais da empresa: matéria-prima, estoque em processo (*Work In Process - WIP*), produtos acabados, materiais de consumo;
- Ativos fixos: máquinas, ferramentas, dispositivos e etc;
- Tempo de atravessamento (*Lead Time*): tempo transcorrido entre a entrada de um material na fábrica e entrega do produto ao cliente.

As conexões entre os níveis de estoque e os ativos fixos e as exigências de capital da empresa são claras. A aquisição de um maior número de equipamentos e máquinas para configurar o sistema de manufatura, bem como o aumento do valor imobilizado em estoques, resultam em uma demanda de capital mais significativa para a empresa. Em relação ao tempo de processamento, é fundamental notar que quanto mais prolongado ele for, mais extenso será o ciclo financeiro da empresa, impactando conseqüentemente o fluxo de caixa (ANTUNES et al., 2008; SCHMIDT, 2019).

O trabalho de Schmidt (2019), é um excelente exemplo da aplicação de um sistema de produção próprio, ele propõe o desenvolvimento de método para implementação de um sistema de produção, para Indústria de Autopeças com elementos da Indústria 4.0. O intuito é auxiliar às empresas a evoluírem na direção da Indústria 4.0, a fim de obter melhorias em seu processo produtivo (SCHMIDT, 2019).

O método desenvolvido por Schmidt (2019), foi aplicado em uma família de produtos de metalmeccânica situada no Noroeste do Estado do Rio grande do Sul, uma organização pertencente à cadeia de suprimentos da indústria automotiva brasileira. O método proposto mostrou que os benefícios partem da redução do tempo de atravessamento, redução dos estoques ao aumento de produção, além da viabilidade de novos modelos de negócios. O valor financeiro das tecnologias que caracterizam a Indústria 4.0, estão sendo reduzidos constantemente, isso devido ao avanço da tecnologia, propiciando às organizações maior competitividade. A aplicação dos princípios da manufatura enxuta, por parte de um número de empresas em todo o mundo, faz com que todas alcancem determinado nível de competitividade (SCHMIDT, 2019).

#### 2.2.4 TEORIA DAS RESTRIÇÕES

Mabin e Balderstone (2003) definem a TOC como uma metodologia multifuncional, em constante evolução ao longo dos anos, destinada a auxiliar indivíduos e organizações a analisar problemas e suas raízes, desenvolver soluções inovadoras e implementá-las de maneira eficaz (LACERDA et al., 2011).

De acordo com Cox III et al. (1995) e Cox III et al. (2013), o processo de raciocínio proposto pela TOC orienta o planejamento, a execução e o controle do sistema por meio da gestão das restrições. Este processo, parte do princípio de que é crucial abordar a origem ou causa-raiz da restrição que impede o sistema de alcançar sua principal meta. Essa meta pode ser entendida como a maximização dos lucros e da rentabilidade do sistema como um todo. Segundo o mesmo autor, os processos de raciocínio devem ser aplicados para identificar e criar soluções que proporcionem benefícios mútuos, entre as diversas entidades que compõem o sistema, seguindo a abordagem de "ganha-ganha".

Para um melhor entendimento desta filosofia de gestão, faz-se necessário abordar, conceitualmente, os fundamentos da TOC, que incluem:

- O conceito de restrição;
- O processo de melhoria contínua através da focalização em 5 passos;
- Os conceitos de tambor-pulmão-corta, e como proteger o tambor através da programação TPC (Tambor, Pulmão e Corda) e do gerenciamento dos pulmões;

#### 2.2.4.1 CONCEITO DE RESTRIÇÃO

Para Cox III et al. (1995), da mesma forma que é mencionado por Oliveira (2013) e Lacerda et al. (2011), “Restrição” é qualquer fato que impeça que um sistema alcance um nível melhor de desempenho, no que tange sua meta.” As restrições podem ser físicas (um equipamento ou a falta de material), ou podem ser de origem gerencial (procedimentos, políticas e normas).

Watson et al. (2007) e Lacerda (2005), complementam ainda que as restrições podem ser tratadas em três naturezas:

- i) Física (Capacidade de algum recurso menor que a demanda);
- ii) De mercado (Demanda menor que a capacidade do recurso restritivo);
- iii) Políticas (Regras formais e informais que limitem a capacidade do sistema).

Segundo Corbett (1997), o núcleo da TOC consiste em assimilar a existência de restrições no sistema, quando coloca que todo sistema possui ao menos uma restrição, pois se não houvesse algo que limitasse o desempenho do sistema, ele seria infinito (OLIVEIRA, 2013; SOUSA, 2019).

Segundo Antunes et al. (2008), é relevante o entendimento entre recursos gargalos e os recursos com capacidades restritivas (os chamados *capacity constraints resources* - CCRs). Os gargalos são os recursos onde a capacidade disponível é menor do que a capacidade necessária para atender a demanda requerida pelo mercado. Já os CCRs são aqueles recursos que, em média têm capacidade superior à necessária para atender o mercado, mas que em detrimento das variabilidades que ocorrem nos sistemas produtivos ou devido à variação

significativa da demanda, podem apresentar restrições de capacidade, conforme, observa-se no trabalho de Oliveira (2013).

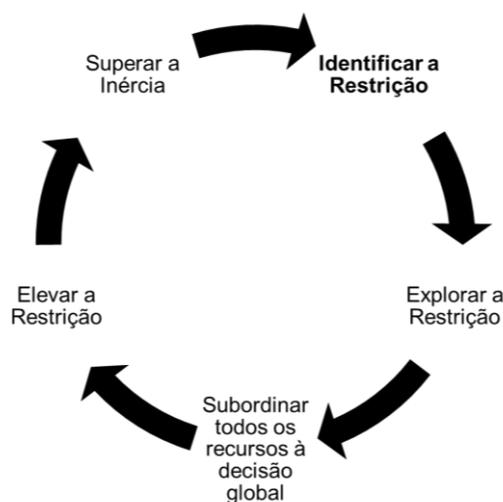
Segundo Goldratt & Cox (1986), a TOC fundamenta-se na ideia essencial, de que, qualquer sistema que defina uma meta específica, inevitavelmente possui pelo menos um componente que restringe o seu desempenho em relação a essa meta. Caso contrário, a empresa teria uma lucratividade infinita. A TOC denomina esse componente limitante como a "restrição" do sistema, e é esperado que sistemas desse tipo sejam limitados por um número reduzido de restrições. Com esse propósito, a TOC propõe que todas as empresas sigam os cinco passos, como parte de um processo contínuo de melhoria, conforme sugerido por Goldratt & Fox (1989) e Goldratt (1990).

#### 2.2.4.2 5 PASSOS DA FOCALIZAÇÃO

De acordo com Rahman (2002) e conforme observado no trabalho de Fernandes (2022), o método de focalização em cinco etapas (conforme ilustrado na Figura 19) é uma técnica que permite compreender o ambiente e delinear o processo de implantação e retroalimentação da TOC.

Antunes Jr. (1998) afirma que, embora esses passos tenham sido inicialmente aplicados ao sequenciamento da produção na TOC, eles podem ser estendidos para toda a empresa, funcionando como um mecanismo de priorização das ações a serem realizadas.

Figura 19 – O método de focalização em 5 etapas



Fonte: Adaptado de Rahman (2002).

Umble & Umble (1998) e Fernandes (2022) destacam que o processo de focalização em 5 passos é fundamental para entender e implementar a TOC:

**Passo 1** – Identificar a restrição do sistema: Segundo Antunes (1998), as restrições podem ser materiais (insumos do processo), de capacidade (capacidade abaixo da demanda), de mercado (demanda inferior à capacidade) e políticas (internas ou externas). A TOC afirma que a restrição limita o desempenho total do sistema, e o foco contra desperdícios deve ser direcionado à restrição (Siha, 1999; Okutmus, 2016; Souza, 2020).

**Passo 2** – Explorar a restrição: Rahman (2002) defende que, se a restrição for física, deve ser usada ao máximo; se for uma política, deve ser substituída. Goldratt (2002) destaca que uma hora desperdiçada na restrição impacta todo o sistema. Restrições externas limitam o ganho pelo mercado.

**Passo 3** – Subordinar todo o sistema à restrição: Todos os recursos devem alinhar-se para processar apenas a capacidade da restrição, reduzindo o WIP (Rahman, 2002).

**Passo 4** – Elevar a restrição: Melhorar o recurso restritivo para maximizar o desempenho do sistema. Se a restrição for o mercado, é recomendável expandir a atuação (Watson et al., 2007).

**Passo 5** – Reavaliar a restrição: O processo deve ser contínuo, evitando que a inércia se torne uma nova restrição e garantindo a adaptabilidade do sistema a novos cenários (Rahman, 1998; Okutmus, 2016; Souza, 2020).

Esse ciclo garante que o sistema se mantenha flexível e orientado para o desempenho máximo.

#### 2.2.4.3 TAMBOR, PULMÃO E CORDA

Segundo Souza (2005) e Luiz (2021), o método de programação TPC evoluiu a partir da disseminação e do aprimoramento do OPT (*Optimum Production Technology* - Tecnologia de Produção Ideal). Gradualmente, esse método ampliou seu escopo, indo além das questões relacionadas ao chão de fábrica, para abordar diversos aspectos empresariais.

De acordo com Souza (2005), o TPC é uma metodologia para planejamento e controle da produção, que parte do princípio de que existem algumas poucas

restrições no sistema, em outras palavras, que existam poucos recursos com restrição de capacidade (RRC) e que estes poucos recursos devem impor o ritmo de produção do restante da fábrica (LUIZ, 2021).

Ainda, de acordo com Perez (1997), o TPC adota uma abordagem que se baseia na identificação das restrições físicas ou de mercado. Uma vez identificadas, o foco da programação é a sincronização da produção com as demandas dos clientes, garantindo uma utilização coordenada dos recursos e materiais do sistema. Para uma compreensão mais aprofundada do método TPC, a seguir apresenta-se o significado de cada um dos elementos, que o compõem.

- **Tambor**

Para Cox III et al. (1995), conforme seu nome, o Tambor, marca o ritmo de produção determinado pela restrição do sistema (LUIZ, 2021). Na Figura 20, consta-se colocado um exemplo lúdico tratando desta analogia.

Figura 20 – Analogia da tropa ao gargalo



Fonte: Adaptado de Goldratt e Fox (1992) e Oliveira (2013).

Dessa forma, de acordo com Rahman (1998), o "tambor" representa o compasso imposto pela restrição, estabelecendo o ritmo do sistema e alinhando-o com o terceiro passo das 5 etapas de focalização, que consiste em subordinar todo o processo, ao ritmo ditado pela restrição (LUIZ, 2021).

- **Pulmão**

Conforme Cox III et al. (1995), o "Pulmão" representa uma parte da reserva de segurança presente no processo, seja em termos de tempo ou de material, estrategicamente alocada na programação. Essa medida tem como objetivo salvar o sistema contra variações, permitindo-lhe maximizar seus ganhos e/ou cumprir prazos de entrega (LUIZ, 2021).

Segundo Watson et al. (2007), os pulmões localizados nos RRCs desempenham um papel essencial, no suporte ao segundo passo do processo de focalização em cinco etapas, que envolve a análise da restrição do sistema.

A utilização dos pulmões visa garantir o funcionamento sem interrupções dos RRCs e dos processos subsequentes, aproveitando os estoques de proteção do "tambor" e dos estágios subsequentes, assegurando, assim, a capacidade do sistema em cumprir a programação estabelecida (WATSON et al., 2007).

Ainda, de acordo com Rahman (1998), os pulmões podem ser considerados, físicos, como produtos acabados ou WIP, mas a lógica da utilização dos pulmões, está em enxergá-los sob a visão do tempo. Assim, eles podem ser chamados como pulmões de tempo, ou *time-buffers*.

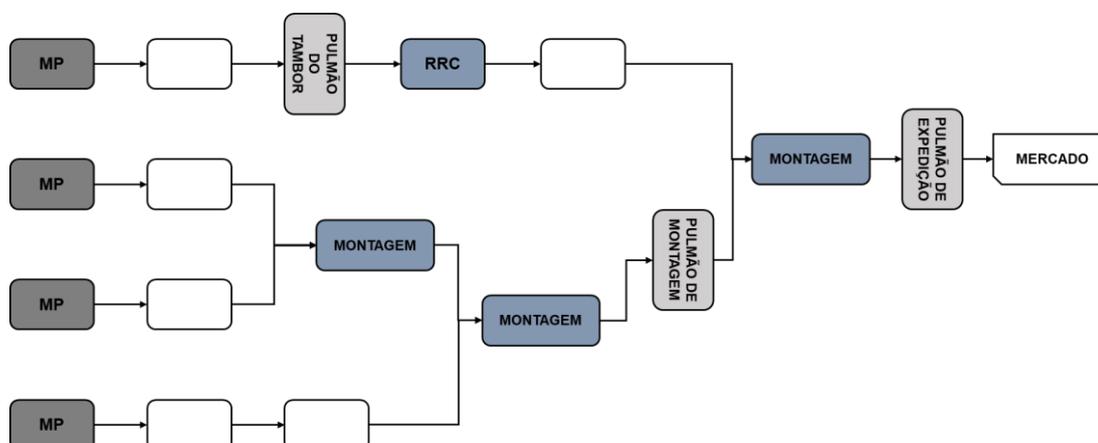
Conforme Schragenheim e Dettmer (2000) há três tipos básicos de pulmões:

- i) **Shipping buffer** (ou Pulmão de Mercado): Este *buffer* representa o tempo previsto para a transferência do produto da manufatura até o estado final pronto, para ser enviado ao mercado. Quando a capacidade do sistema excede a demanda do mercado, o *buffer* de expedição é calculado a partir do momento em que a matéria-prima entra no processo inicial. Para proteger as datas de entrega, o *buffer* de expedição mantém um pequeno estoque de produtos acabados, permitindo ao sistema entregar itens em prazos mais curtos, do que o *lead time* (WATSON et al., 2007; SANTOS, 2022).
- ii) **Drum buffer**: Este *buffer* representa o tempo estimado de transferência da matéria-prima, desde a entrada na manufatura até o recurso anterior ao Recurso com Capacidade Restritiva (RRC). O *buffer* do tambor absorve todo o tempo necessário para que a matéria-prima chegue ao recurso que antecede o RRC (SANTOS, 2022).
- iii) **Assembly buffer** (ou Pulmão de Convergência): Este *buffer* estima o tempo de transferência, desde a entrada da matéria-prima na linha de produção, até o ponto de convergência, onde os subconjuntos vindos do RRC e de outros produtos que não passam pelo RRC se encontram (SANTOS, 2022).

Para Cox III et al. (1995), com a utilização dos pulmões o controle do fluxo do sistema deixa de ser feito pelos estoques e passa a ser feito pelo gerenciamento dos

pulmões, desta forma, evitando a ociosidade no RRC e o atraso nas entregas aos clientes finais. A Figura 21, ilustra a utilização de todos os pulmões utilizados no TPC.

Figura 21 – Alocação dos pulmões de acordo com a metodologia TPC



Fonte: Adaptado de Rahman (1998) e Oliveira (2013).

A incorporação dos *buffers* ou pulmões no sistema, possibilita monitorar as informações relacionadas à variabilidade da demanda, em diferentes estágios do processo, viabilizando a realização de ajustes nos pontos onde as flutuações são mais significativas (SANTOS, 2022).

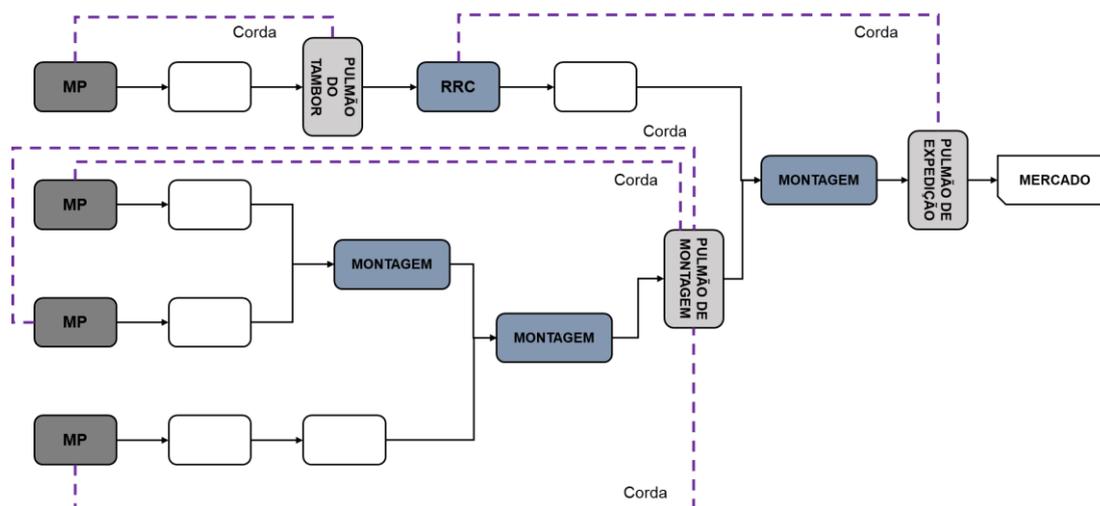
- **Corda**

Watson et al. (2007) ressaltam que, da mesma forma que o tambor, que está alinhado com o terceiro estágio do processo de focalização de cinco etapas (subordinando todo o sistema à restrição), a corda desempenha o papel de vincular o desempenho dos recursos não restritivos à capacidade de produção do RRC (tambor) (SRIKANTH, 2010).

Conforme Rahman (2002) e Slack et al. (2018), a corda estabelece uma comunicação entre os pontos críticos de controle, para garantir a sincronia dos materiais com a produção, resultando na minimização do impacto das variações, nos setores produtivos e na manutenção de níveis de estoque consistentes, ao longo do processo de fabricação.

A Figura 22, demonstra a utilização da corda (ou neste caso, das cordas), ilustrando como funciona a comunicação para, no momento adequado, disparar a entrada de matéria prima no sistema, desta forma, garantido que o fluxo fique contínuo de acordo com o que o mercado demanda.

Figura 22 – Alocação dos pulmões e utilização da corda de acordo com a metodologia TPC



Fonte: Adaptado de Rahman (1998) e Oliveira (2013).

Resumidamente, a lógica que conduz o método TPC pode ser colocada da seguinte maneira (Oliveira, 2013):

- Primeiro: todo fluxo do sistema se subordinar ao tambor;
- Segundo: manter o tambor protegido contra os atrasos do sistema, através da utilização dos pulmões em pontos estratégicos no sistema, conforme mencionado anteriormente;
- Terceiro: de acordo com o nível dos pulmões, atuar em todos os fluxos paralelos ou que precedem o tambor, mantendo o fluxo contínuo, sem interrupções.

Segundo Fry, Karwan & Steele (1991), os seis passos, indispensáveis para a implantação do TPC, são:

1. Identificar e estabelecer o tambor;
2. Estabelecer um cronograma mestre de produção para o tambor;
3. Estabelecer o estoque apropriado para o tambor;
4. Estabelecer a corda do tambor às operações iniciais;
5. Estabelecer um sistema de medida de desempenho adequado;
6. Estabelecer um processo de melhoria contínua (MARIZ, 2018).

### 2.2.5 TEORIA DAS RESTRIÇÕES NO PROJETO DO LAYOUT

No meio acadêmico, existem inúmeros artigos que comprovam a eficácia da aplicação da Teoria das Restrições, em vários segmentos de negócio. Turcato (2022)

afirma que a TOC é uma abordagem de gerenciamento que se concentra na identificação e eliminação de restrições ou gargalos, que impedem a eficiência e o desempenho otimizado em processos e operações, sendo aplicável a uma variedade de contextos, incluindo o projeto de *layout* em operações de fabricação e logística.

Ainda, de acordo com Turcato (2022), quando se trata de aplicar a TOC ao projeto de *layout*, o foco principal está em otimizar o fluxo de trabalho e a eficiência dos processos. Aqui estão alguns conceitos-chave da TOC, relevantes durante o projeto de *layout*:

- **Identificação de Restrições:** O primeiro passo é identificar as restrições ou gargalos no processo de produção ou operação. Essas restrições podem ser máquinas, estações de trabalho, áreas de armazenamento ou qualquer elemento que limite a capacidade de produção.
- **Expansão da Capacidade da Restrição:** Uma vez que a restrição é identificada, a TOC enfatiza a importância de aumentar a capacidade da restrição para garantir que, ela não seja um impedimento para o desempenho global. Isso pode ser feito por meio de investimentos em equipamentos adicionais, mão de obra ou outras melhorias.
- **Controle de WIP:** A TOC defende a ideia de que o excesso de trabalho em andamento (WIP), antes de uma restrição pode ser prejudicial. Manter níveis excessivos de WIP pode levar a atrasos, ineficiências e aumento de custos. Portanto, é importante manter um controle rigoroso sobre o WIP e garantir que ele esteja alinhado com a capacidade da restrição.
- **Balanceamento do Fluxo:** O projeto de *layout* deve ser configurado para equilibrar o fluxo de trabalho em torno da restrição, de modo que, o trabalho flua suavemente e sem interrupções. Isso pode envolver a reorganização das estações de trabalho, o redesenho do *layout* ou a implementação de sistemas de agendamento eficazes.
- **Medição e Monitoramento:** A TOC enfatiza a importância da medição e monitoramento contínuos, para avaliar o desempenho e identificar áreas que precisam de melhorias. Isso pode incluir, o uso de

indicadores-chave de desempenho (KPIs) para acompanhar a eficácia das mudanças implementadas.

- **Pensamento de Ganho Global:** Em vez de otimizar partes isoladas do processo, a TOC promove uma abordagem de ganho global, na qual as melhorias são direcionadas para maximizar o desempenho geral do sistema. Isso significa que, mesmo que uma melhoria em uma área específica cause subotimização local, ela deve ser feita se melhorar o desempenho global.
- **Ciclo de Melhoria Contínua:** A TOC defende a ideia de que o processo de melhoria é contínuo. À medida que as restrições são eliminadas ou deslocadas, novas restrições podem surgir, exigindo adaptações e melhorias contínuas.

Os fatores acima, também foram observados em artigos que englobam os conceitos de TOC e mencionam o estudo de *layout*, estes artigos, serão brevemente descritos abaixo.

O trabalho de Oliveira (2016) aplicou os 5 passos da focalização da TOC na linha de produção de um frigorífico, com o objetivo de obter aumento de produtividade sem a contratação de mão de obra, para isto, foi identificado o recurso gargalo e alterado o *layout* da linha de produção a partir dele.

De maneira geral, na maioria das vezes não fica nítido a aplicação da TOC no planejamento ou projeto de *layout*, em muitos casos a alteração de *layout* se dá pela necessidade da criação dos *buffers* ou pulmões de proteção do gargalo no fluxo produtivo.

Em resumo, a Teoria das Restrições no projeto de *layout* visa aprimorar a eficiência e o desempenho global, concentrando-se na identificação e eliminação das restrições que limitam a capacidade de produção. Isso é alcançado por meio da expansão da capacidade das restrições, equilíbrio de fluxo e controle de WIP, juntamente com uma abordagem de melhoria contínua. Quando aplicada corretamente, a TOC pode resultar em operações mais eficazes, redução de custos e maior lucratividade (TURCATO, 2022).

## 2.2.6 SINTESE DOS AUTORES E TRABALHOS RELACIONADOS

Na tabela abaixo é possível observar uma compilação dos autores relacionados a cada um dos assuntos visto até então, assim como uma síntese dos trabalhos relacionados.

Tabela 1 – Síntese dos Autores *Layout* e Planejamento

<b>CONCEITOS</b>	<b>AUTORES</b>
ARRANJO FÍSICO E TIPOS DE LAYOUT	(SILVA, 1983)
	(SLACK, CHAMBERS E JOHNSTON, 2009)
	(ROCHA, 2011)
	(NEUMANN E SCALICE, 2015)
	(SQUILANTE JÚNIOR, 2019)
	(BATTISSACCO, 2021)
	(RIBEIRO, 2023)
	(SILVESTRE ET AL., 2023)
PLANEJAMENTO SISTÊMICO DE LAYOUT (SLP)	(MUTHER, 1978)
	(FERREIRA, 2021)
SISTEMA DE PRODUÇÃO	(SKINNER, 1974)
	(SHINGO, 1996)
	(BÖSENBERG E METZEN, 2005)
	(ANTUNES ET AL., 2008)
	(SCHMIDT, 2019)
	(ALBUQUERQUE, 2020)
	(ANTUNES ET AL., 2022)
TEORIA DAS RESTRIÇÕES	(COX ET AL., 1995)
	(MABIN E BALDERSTONE, 2003)
	(SOUZA, 2005)
	(LACERDA, 2005)
	(WATSON ET AL., 2007)
	(LACERDA ET AL., 2011)
	(COX ET AL., 2013)
	(OKUTMUS, 2016)
	(LUIZ, 2021)

Fonte: o Autor, 2024.

Tabela 2 – Síntese dos Trabalhos Relacionados *Layout* e Planejamento

CONCEITO	TRABALHOS RELACIONADOS	AUTORES
ARRANJO FÍSICO E TIPOS DE LAYOUT	Avaliação de um layout celular implementado: Um estudo de caso em uma indústria de autopeças	(DALMAS, 2004)
	Proposta de Modificação de Layout Celular de uma Empresa de Autopeças	(LIMA, 2009)
	Proposta de melhoria de layout visando a melhora do processo produtivo em uma empresa de estofados	(BRITO ET AL., 2016)
	Layout Em Novos Empreendimentos: Estudo De Caso De Uma Processadora De Cafés Especiais	(MESQUITA, 2018)
	Proposta de melhoria no layout do setor de produção de uma empresa no segmento de embalagens: estudo de caso em uma Empresa do Polo Industrial de Manaus - AM	(DUARTE, 2020)
	Desenvolvimento Do Projeto Conceitual De Layout Para Uma Empresa De Artefatos De Concreto	(OLIVEIRA ET. AL, 2020)
	Processos de negócios em empresas baseadas em plataformas digitais: Análise da gestão de processos em uma startup de delivery	(MARCOLINO, 2020)
	Gestão de processo: uma proposta de padronização de um arranjo físico em uma indústria de estofados localizada no sudoeste do paraná	(LAZAROTTO, 2020)
	Análise de viabilidade de adaptação de uma linha de produção de acabamentos em uma empresa metal mecânica	(BORELLI, 2021)
	Melhoria de processos organizacionais: contribuições sob a perspectiva de gestão de processos em uma universidade pública	(OLIVEIRA, 2023)
	Proposta De Mudança De Layout Em Um Almoarifado De Uma Empresa Do Segmento Gráfico	(SALES, 2023)
	PLANEJAMENTO SISTÊMICO DE LAYOUT (SLP)	Aplicação da Metodologia SLP na Reformulação do Layout de uma microempresa do setor moveleiro
Ferramentas da qualidade: definição de fluxogramas para confecção de jalecos industriais		(BERGMANN ET AL., 2012)
Aplicação do Método SLP no desenvolvimento de um layout otimizado em uma empresa têxtil		(BORGES ET AL., 2019)
Planejamento sistemático de layout (SLP): estudo de caso para uma agroindústria no município de Abaetetuba-PA		(SOUZA, 2019)
Uma Revisão Sistemática da Literatura sobre os Métodos de Rearranjo de Layout		(NEGRÃO ET. AL, 2019)
Gestão de processo: uma proposta de padronização de um arranjo físico em uma indústria de estofados localizada no sudoeste do Paraná		(LAZAROTTO, 2020)
Proposta de melhoria de layout para otimização e automação de processo produtivo		(SILVA, 2020)
Aplicação da simulação a eventos discretos para um estudo de caso sob a ótica da gestão da produção de células de manufatura		(BATTISSACCO, 2021)
Otimização de Layout através do método SLP – Um estudo de caso da eficiência produtiva em uma empresa de confecção		(MOURA ET AL., 2021)
Proposta de um layout de produção alimentícia através do método SLP e da ferramenta AutoCad		(DINIZ, 2022)
Proposta de melhoria de arranjo físico de uma fábrica de açaí utilizando o método SLP simplificado		(FARIA, 2022)
Aplicação do método SLP no setor de logística de uma indústria de MDF		(POLAK, 2022)
Planejamento de layout celular e avaliação da mudança proposta com o uso de simulação computacional		(PENNA, 2023)
O método SLP simplificado aplicado a proposição de melhorias no arranjo físico de uma marmoraria localizada em Poté-MG		(RODRIGUES ET AL., 2023)
SISTEMA DE PRODUÇÃO		Sistema de Produção para Indústria de Autopeças com elementos da Indústria 4.0
TEORIA DAS RESTRIÇÕES	The theory of constraints' thinking process approach to developing strategies in supply chain	(RAHMAN, 2002)
	Método para dimensionamento e gestão de linhas de montagem em boxes operadas por equipes: uma abordagem a partir do sistema toyota de produção e da teoria das restrições	(OLIVEIRA, 2013)
	Aplicação Da Teoria Das Restrições Em Uma Indústria Alimentícia	(OLIVEIRA, 2016)
	Planejamento sistemático de layout (SLP): estudo de caso para uma agroindústria no município de Abaetetuba-PA	(SOUSA, 2019)
	Aplicação dos Thinking Processes da Teoria das Restrições à Melhoria do Desempenho Global de Equipamentos (OEE)	(FERNANDES, 2022)
	Teoria das Restrições, a metodologia que corrige os problemas do seu negócio	(TURCATO, 2022)
	Proposta de melhoria no layout em uma empresa do ramo da saúde e educação	(SANTOS, 2022)

Fonte: o Autor, 2024.

## 2.3 SIMULAÇÃO

Antes de entrar na discussão sobre simulação computacional de modelos, deve se ter o entendimento mínimo sobre o que é simulação, seus tipos e como são relevantes para a análise de diversos cenários, entre outros pontos importantes deste tema.

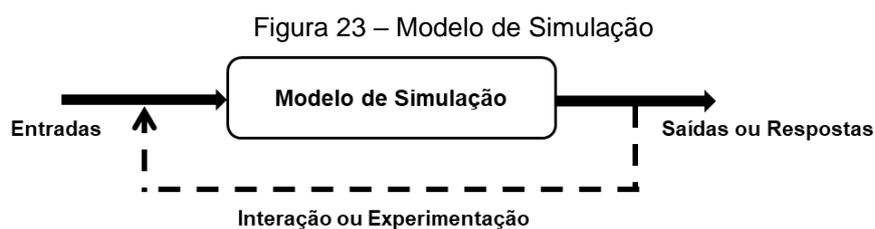
A simulação de eventos discretos é uma técnica de modelagem usada para representar sistemas onde as mudanças ocorrem em momentos específicos, chamados eventos. Ela é especialmente eficaz para processos estocásticos, que envolvem incerteza e variabilidade, como tempos de espera ou falhas de máquinas. Ao simular esses processos, a técnica permite testar diferentes cenários e avaliar o desempenho do sistema sob condições reais, sem afetar o ambiente real. Isso ajuda a entender e otimizar o comportamento de sistemas complexos, como linhas de produção, hospitais e redes logísticas (BANKS, 2009; LAW, 2014;).

### 2.3.1 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL E DE EVENTOS DISCRETOS

A simulação computacional envolve o uso de técnicas matemáticas em conjunto com computadores digitais, para replicar o funcionamento de processos ou operações de sistemas do mundo real (BANKS, 1998; FILHO, 2001; BATEMAN et al., 2013; CHWIF; MEDINA, 2010; SUZEK et al., 2020). Os modelos de simulação permitem a avaliação da dinâmica da produção ao longo do tempo, sendo particularmente valiosos quando recursos e tempo são limitados (DE LIMA et al., 2016; PEREIRA; COSTA, 2012; ARAUJO, 2023).

Segundo Banks (2000) e Pastorio et al. (2021), a simulação computacional é a emulação de um processo do mundo real, resultando na criação de um sistema artificial baseado em computador, e é considerada uma ferramenta essencial na resolução de problemas no contexto do mundo real.

Portanto, segundo Pidd (1998) um modelo de simulação pode ser representado genericamente, conforme figura 23:



Fonte: Adaptado de Pidd (1998, p. 226)

Um modelo de simulação é notável por sua economicidade, capacidade de analisar sistemas complexos com facilidade e oferecer maior segurança e rapidez em relação a sistemas reais (PIDD, 1998; MACÊDO, 2023). Conforme Pidd (1998), sua base reside na conversão de um modelo de simulação em um ambiente artificial, o que permite abordar questões do tipo "O que aconteceria se...?" de forma eficaz.

Carson (2004) e Randon et al. (2019) argumentam que os modelos de simulação são representações descritivas de um processo ou sistema que incorporam parâmetros ajustáveis. Esses modelos são valiosos para avaliar o sistema em questão, realizar experimentações por meio da manipulação dos parâmetros de entrada e para comparar diferentes configurações do sistema ou processo sob análise. Essas funcionalidades viabilizam a identificação de oportunidades de melhoria, a detecção de gargalos ou problemas no sistema e permitem antecipar o comportamento do sistema em face de diversas situações predefinidas.

Ainda, segundo Pidd (1998), existem três abordagens distintas na simulação computacional: simulação por eventos discretos, simulação contínua e simulação discreta e contínua.

A abordagem de simulação utilizada e estudada, nesta pesquisa, é a simulação por eventos discretos (SED). Esta caracteriza-se pelo uso de entidades discretas, que variam com o tempo (PIDD, 1998). Law e Kelton (1991) e Simão (2020) definem a simulação de eventos discretos como uma abordagem da simulação em que as variáveis do sistema modelado mudam de estado em pontos distintos no tempo.

Esta abordagem da simulação computacional que vem sendo usada nas ciências administrativas desde os anos 50 e é uma das abordagens mais usadas (LAW E KELTON, 1991; PIDD, 1998). A SED é "uma das mais poderosas técnicas de modelagem utilizadas na indústria" (HOLST, 2001; FRANK, 2022).

Chwif e Medina (2010) e Amaral (2021) destacam que o modelo de simulação é frequentemente empregado como uma abordagem para obter *insights* quando ocorrem alterações nas variáveis, como a introdução de máquinas no processo, a redução da equipe de colaboradores ou o aumento na demanda. Essas mudanças podem gerar uma ampla gama de respostas, e, portanto, um modelo de simulação se mostra valioso na análise das múltiplas variáveis envolvidas no sistema.

A simulação computacional oferece uma série de vantagens, incluindo a capacidade de investigar sistemas complexos com eventos probabilísticos, que muitas vezes não podem ser adequadamente tratados por meio de técnicas analíticas convencionais. Além disso, a simulação proporciona um nível maior de controle sobre as condições experimentais em comparação com a experimentação em sistemas reais, permitindo a replicação precisa de experimentos e a exploração de diversos cenários para o sistema (LAW; KELTON, 1991; RUIZ, 2019).

Permite também simular longos períodos em um tempo muito reduzido. Em geral, é mais econômico do que testar o sistema real. Como desvantagens tem-se que a simulação computacional depende da validade do modelo desenvolvido, que na maioria das vezes é complexa, sendo necessário que o cenário represente fidedignamente o sistema. A técnica da simulação não é por si só otimizadora, testando somente as alternativas dadas pelo usuário (LAW; KELTON, 1991; ASSUNPÇÃO; JACOBS, 2019).

Apesar disto vários autores já mostraram a aplicabilidade da simulação computacional na reformulação de projetos de *layout*. Meirelles et al. (2009) utilizaram a simulação computacional para realizar o estudo de propostas de alterações de *layout* em uma fábrica de refratários, de forma que a simulação permitiu a fácil realização de alterações.

Já Boblitz (1991) estudou aquisições de novas máquinas e a substituição de suas células de manufatura por uma linha de produção contínua gerando a economia financeira ao verificar que tal aquisição não traria resultados positivos.

Almeida et al. (2006), por meio de simulação realizaram o balanceamento da célula de montagem em uma fábrica de calçados possibilitando a visualização do funcionamento de uma linha produtiva a um baixo custo e contribuindo na tomada de decisão. Ainda, Lopes (1999) utilizou a simulação para avaliar a capacidade de fluxo em um sistema de armazenagem de uma fábrica de pneus.

Assunção e Jacobs (2019) propuseram através de uma abordagem para análise de *layout*, o emprego da simulação de eventos discretos e os indicadores operacionais da TOC, para avaliar qual arranjo físico é mais adequado, levando em consideração o arranjo celular ou funcional, a ser utilizado em um setor de misturas de uma empresa de alimentos.

Lima et al. (2016) apresenta através de um artigo a aplicação do MFV (Mapeamento de Fluxo de Valor), associado à simulação, a fim de analisar os impactos da adoção do *Lean Manufacturing* no desempenho de uma empresa calçadista, diferentes cenários foram simulados para a implementação do estado futuro e estes tiveram seus resultados comparados entre si.

Correia (2021) identifica a partir do seu estudo, como elevar a produtividade na área de fusão de uma empresa de fundição à luz do *Lean Manufacturing* com suporte da simulação por eventos discretos. Os resultados gerados por meio da aplicação combinada da simulação por eventos discretos em conjunto com as ferramentas do *Lean Manufacturing* – Kaizen e VSM (*Value Stream Mapping* - Mapeamento de Fluxo de Valor), foram de forma aplicada: redução na geração de lingotes, diminuição do tempo de fusão, gerando aumento de produtividade; redução do volume de estoque necessário em virtude da alteração de *layout* e redução de *lead time*.

Ainda, Soares et al (2011) apresentam um estudo de simulação computacional em uma empresa do ramo automotivo, com um ambiente organizacional focado em princípios do Sistema Toyota de Produção (STP). O estudo apresenta uma proposta de simulação computacional da reestruturação de um *layout* celular, a fim de avaliar a redução de estoques em processo, o aumento da produtividade, a redução do *lead time* e a adequação da mão-de-obra na célula de produção.

Portanto, a simulação computacional de eventos discretos emerge como uma poderosa ferramenta para abordar desafios no mundo real, especialmente em ambientes dinâmicos com elevada complexidade (PIDD, 1998; BANKS, 2000; GARBIN et al., 2022).

O uso da simulação computacional tem se expandido para uma ampla variedade de campos e continua a evoluir, em grande parte devido ao progresso contínuo na área da computação (LAW E KELTON, 1991; PIDD, 1998; BANKS,

2000; GARBIN et al., 2022). Essas aplicações seguem de um método (sequência de passos) e se beneficiam das vantagens e, ao mesmo tempo, enfrentam as limitações inerentes à prática da simulação computacional. Estas questões serão apresentadas em tópicos na próxima seção.

### 2.3.2 ETAPAS DO ESTUDO DE SIMULAÇÃO

Um estudo de simulação envolve uma série de etapas organizadas de forma sistemática para garantir que o modelo simulado seja eficaz, representativo da realidade e útil para a tomada de decisões, alguns autores como Averill M. Law (2014) e Jerry Banks (2009), destacam algumas etapas crucias para o desenvolvimento dos modelos, sendo resumidas abaixo:

#### **1. Definição do Problema e Objetivos**

Identificação do problema: Entendimento claro do problema que precisa ser resolvido e das necessidades dos *stakeholders*.

Estabelecimento dos objetivos: Definir o que se espera alcançar com a simulação, como otimização de processos, redução de custos ou melhoria de eficiência.

#### **2. Coleta de Dados**

Reunião de informações: Coletar dados quantitativos e qualitativos necessários para a construção do modelo, como tempos de processamento, taxas de chegada etc.

Verificação da qualidade dos dados: Garantir que os dados sejam precisos, completos e representativos.

#### **3. Desenvolvimento do Modelo**

Construção do modelo: Desenvolver um modelo que represente o sistema real, utilizando *software* de simulação adequado.

Validação inicial: Realizar testes preliminares para garantir que o modelo funcione corretamente e represente o sistema real de forma adequada.

#### **4. Validação e Verificação do Modelo**

Verificação: Garantir que o modelo foi construído corretamente, sem erros lógicos ou de programação.

Validação: Confirmar que o modelo representa de maneira precisa o sistema real, comparando os resultados simulados com dados reais.

### **5. Execução da Simulação**

Realização dos experimentos: Executar o modelo com diferentes cenários, parâmetros e condições para explorar o comportamento do sistema.

Análise de sensibilidade: Identificar quais variáveis têm maior impacto nos resultados, ajustando os parâmetros para ver como afetam a simulação.

### **6. Análise dos Resultados**

Interpretação dos resultados: Analisar os dados gerados pela simulação para identificar padrões, problemas ou oportunidades.

Comparação com os objetivos: Verificar se os resultados da simulação atendem aos objetivos definidos inicialmente.

### **7. Documentação e Comunicação**

Documentação: Registrar todas as etapas do estudo, os modelos utilizados, as suposições feitas e os resultados obtidos.

Apresentação: Comunicar os resultados e as recomendações aos stakeholders, utilizando gráficos, relatórios e apresentações claras.

### **8. Implementação e Acompanhamento**

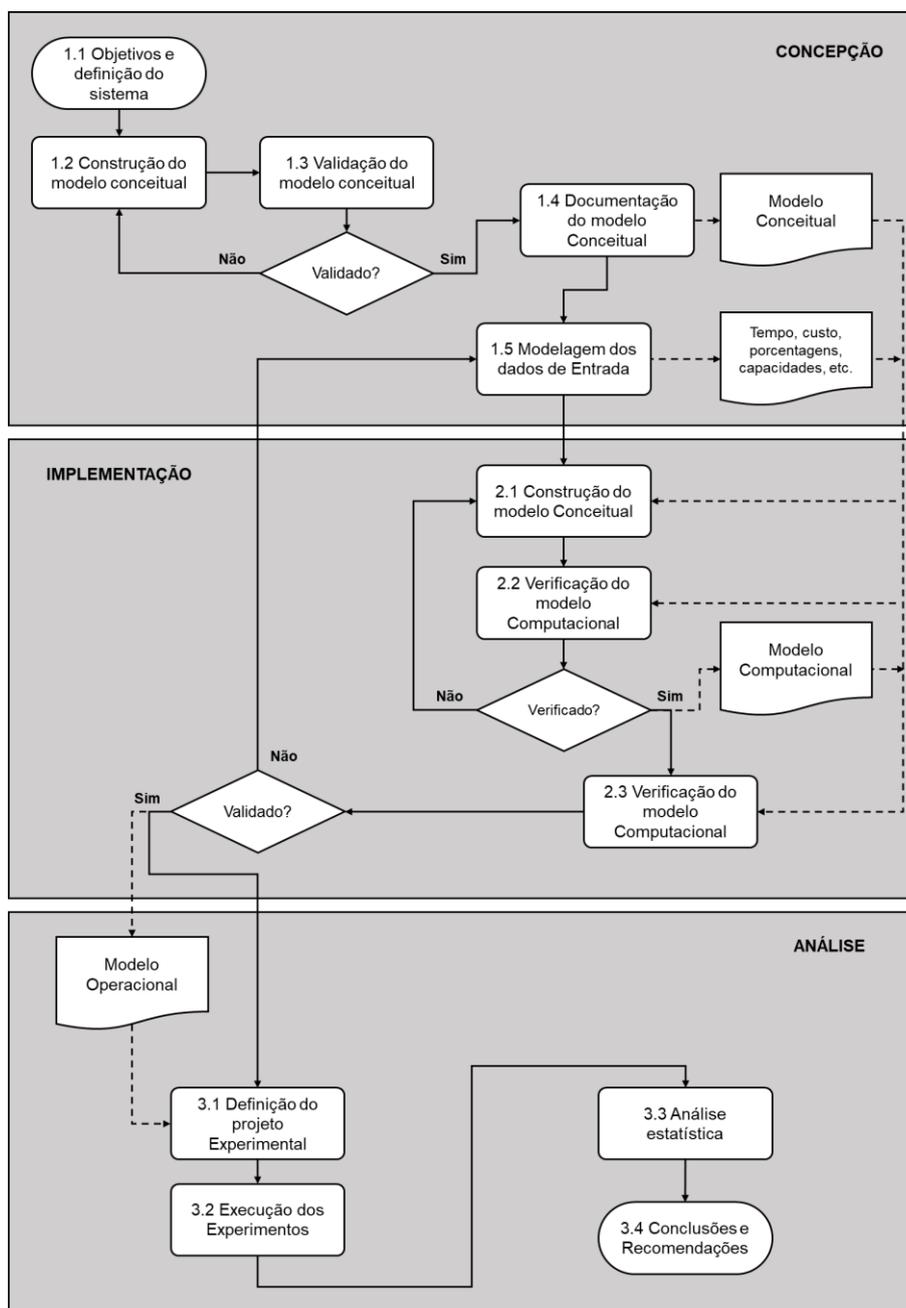
Implementação das mudanças: Caso a simulação indique melhorias, essas devem ser implementadas no sistema real.

Monitoramento: Acompanhar a implementação para verificar se os resultados simulados são alcançados na prática.

Estas etapas acima, garantem que a simulação seja conduzida de maneira rigorosa e que os resultados possam ser utilizados de forma eficaz na tomada de decisões (LAW, 2014; BANKS, 2009).

Além disso, outros autores, botam em prática tais etapas e as complementam, conforme pode-se observar no estudo de Maurício (2013), figura 24, que utiliza os passos da figura abaixo para utilizar da simulação a eventos discretos no dimensionamento de um *layout* celular.

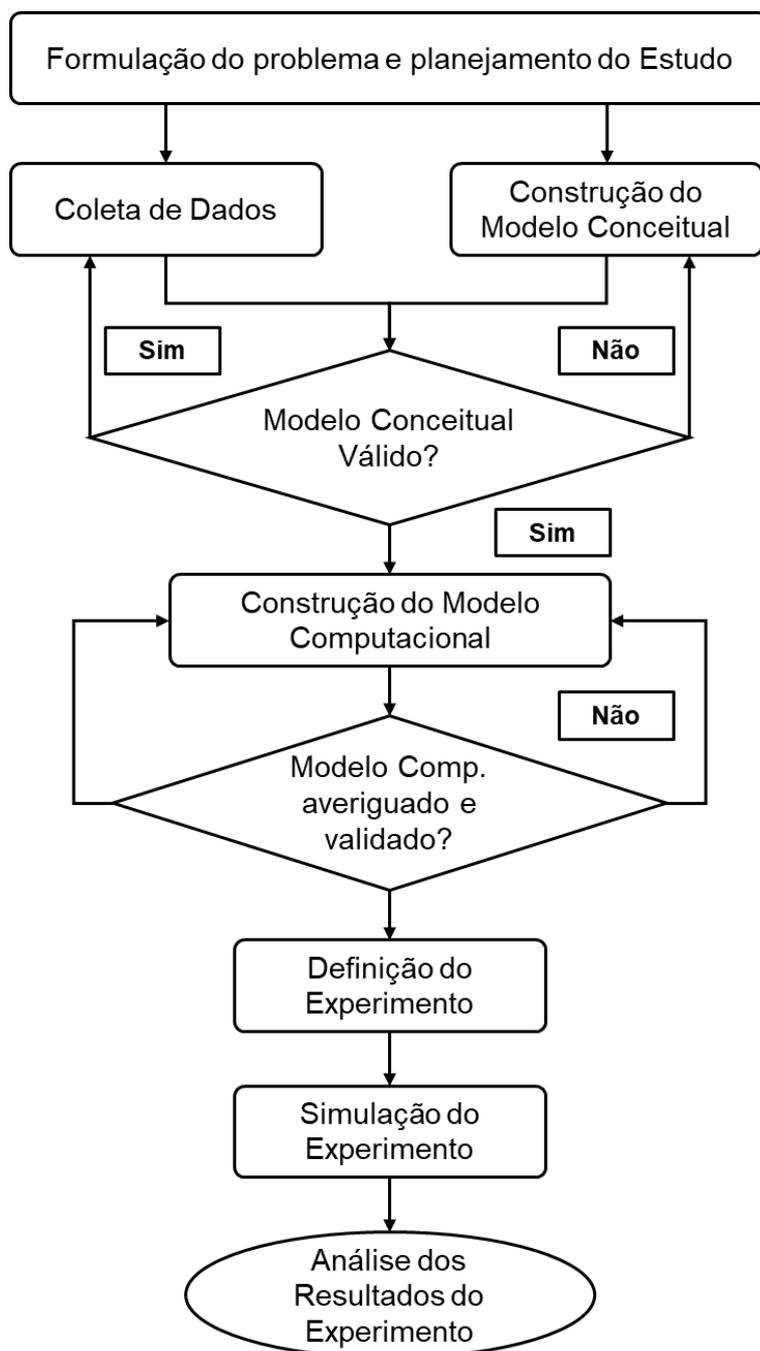
Figura 24 – Etapas do Estudo de Simulação – Montevechi



Fonte: Adaptado de Mauricio et al. (2013) e Montevechi (2010).

O trabalho de Costa (2022), figura 25, utiliza os passos do estudo de simulação, conforme imagem abaixo, com o uso da simulação de eventos discretos para propor o *layout* de produção de uma nova planta ideal para uma empresa fabricante de componentes em materiais compósitos, a qual produz conjuntos pré-montados e acabados para iates, os quais incluem peças grandes como casco e conveses.

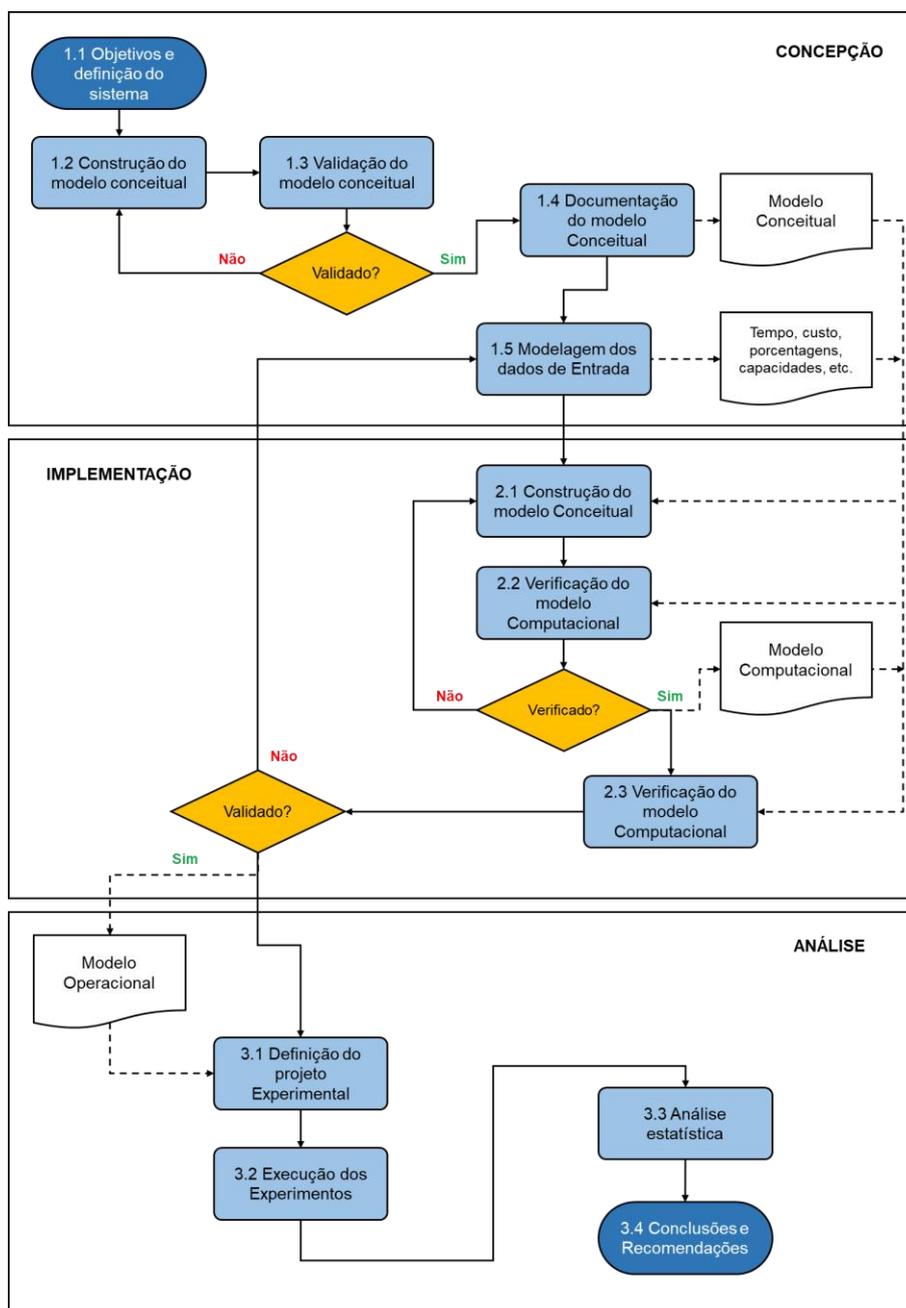
Figura 25 – Etapas do Estudo de Simulação – Vieira



Fonte: Adaptado de Costa (2022) e Vieira (2016).

O trabalho de Ruiz (2019), figura 26, propõe um modelo para realização de simulações de cenários produtivos de uma linha de produção de pilares pré-fabricados, com base no MFV e produção enxuta, abaixo segue parte do modelo desenvolvido, referente as etapas de concepção, implementação e análise das simulações.

Figura 26 – Etapas do Estudo de Simulação – Ruiz



Fonte: Adaptado de Ruiz (2019) e Montevechi et al. (2010).

### 2.3.3 VANTAGENS E DESVANTAGENS DA SIMULAÇÃO DE LAYOUT PRODUTIVO

Os projetos de simulação têm pontos de vista positivos e negativos que devem ser avaliados antes de sua aplicação em si. Oliveira (2007), Banks (2005) e Maia (2023) consolidam uma lista das vantagens da utilização de modelos de simulação computacional de diversos autores da seguinte forma:

- Permite a simulação de longos períodos de operação de um sistema ou linha de produção;
- Permitem identificar gargalos e ineficiências sem a necessidade de mudanças físicas, o que pode economizar tempo e dinheiro;
- O processo de construção do modelo é incremental, ou seja, a complexidade do modelo aumenta gradualmente;
- Possibilita a avaliação de sistemas em condições de operação planejadas;
- Modelos de simulação são frequentemente mais compreensíveis do que modelos matemáticos;
- É útil na análise de viabilidade de investimentos;
- Facilita testes de diferentes cenários, permitindo a realização de vários experimentos com o modelo construído, oferecendo uma abordagem segura para testar novas ideias;
- Ao analisar diferentes *layouts*, é possível otimizar o fluxo de materiais e a utilização de recursos, melhorando a produtividade;
- Simulações podem ser usadas como ferramentas de treinamento, permitindo que os funcionários aprendam a operar novos *layouts* em um ambiente virtual;
- Pode facilitar o consenso, pois, após etapas de validação, é mais aceitável do que a opinião individual de uma única pessoa.

Ainda, os mesmos autores complementam, da mesma forma, uma lista das desvantagens dos modelos de simulação computacional a partir de diversos autores da seguinte forma:

- O desenvolvimento e a implementação de simulações podem ser caros, exigindo *software* especializado e pessoal qualificado;
- A criação de um modelo de simulação preciso, pode ser complexa e demorada, especialmente para sistemas produtivos grandes e intrincados;
- A precisão da simulação depende da qualidade dos dados de entrada. Dados imprecisos ou incompletos podem levar a resultados enganosos;

- Em muitos casos, modelos de simulação são aplicados a problemas simples que poderiam ser resolvidos analiticamente;
- A criação de modelos pode ser complicada devido à complexidade das linguagens de modelagem;
- A execução dos modelos requer recursos computacionais compatíveis com o modelo desenvolvido;
- Existe o risco de confiar demais nas simulações e subestimar a importância de testes e ajustes no ambiente real.

#### 2.3.4 REQUISITOS PARA O FUNCIONAMENTO DOS MODELOS DE SIMULAÇÃO

Para que os modelos de simulação sejam eficazes e mantenham sua relevância ao longo do tempo dentro da organização, é crucial realizar um planejamento estratégico que leve em consideração sua aplicação a longo prazo. Através de uma revisão bibliográfica em outros trabalhos, identificaram-se características essenciais para a equipe de simulação interna da empresa e fatores internos que contribuem para a utilidade e durabilidade da prática de simulação em todas as organizações (WILLIAMS, 1996; JAGSTAM E KLINGSTAM, 2002; MAYER E SPIECKERMANN, 2010; MACHADO, 2006; FRONTELI et al., 2022).

É possível dividir estes requisitos para o funcionamento dos modelos de simulação em três grandes grupos que serão descritos nos subtópicos a seguir. O primeiro se refere ao banco de dados confiável, o segundo trata dos elementos de gestão e o terceiro das habilidades técnicas necessárias. Estes são os macros *constructos* localizados na teoria que auxiliam as empresas na estruturação da simulação dentro das organizações (CORDEIRO, 2022).

##### 2.3.4.1 Banco de Dados Confiável

A implantação da simulação computacional é um processo que busca proporcionar benefícios à organização, porém, requer certos pré-requisitos. Entre eles, destacam-se a disponibilidade de séries históricas pertinentes ao objeto de análise. Portanto, antes de adotar a simulação computacional, é fundamental

verificar se a organização dispõe de dados históricos confiáveis (MACHADO, 2006; SILVA, 2021).

No contexto da utilização da simulação por eventos discretos (DES) como ferramenta de apoio à tomada de decisões, Johansson et al. (2003) e Laudon e Laudon (2023) investigam a subutilização dessa abordagem nas organizações. Para aumentar a adoção dos modelos de simulação, recomenda-se a implementação de sistemas de gestão de dados, uma vez que os engenheiros geralmente não dispõem de tempo para lidar manualmente com informações. Conforme apontado por Johansson et al. (2003), esses sistemas devem ser regularmente atualizados e a acessibilidade aos dados deve ser atribuída a um responsável designado.

Williams (1996) e Laudon e Laudon (2023) afirmam que a matéria-prima vital para qualquer estudo de simulação são dados precisos e confiáveis. Assim, os gestores de simulação devem estabelecer ligação com os especialistas da empresa responsáveis pelo banco de dados. Estes profissionais podem fornecer uma ajuda preciosa no projeto e construção dos modelos.

Conforme observado por Klingstam e Olsson (2000) e Moraes (2023), é crucial estabelecer uma estrutura de entrada de dados de alta qualidade, caracterizada pela padronização e documentação rigorosa dos procedimentos de manipulação de dados. Isso se torna fundamental, pois uma das principais barreiras na implementação de modelos de simulação reside na carência de dados confiáveis. Essa estrutura deve abranger os seguintes aspectos:

- Enumeração dos parâmetros ou variáveis críticas a serem considerados para cada processo no modelo de simulação, bem como a relação temporal entre essas variáveis e as etapas do projeto, isto é, quando devem ser carregadas ou atualizadas;
- Especificação do local de origem dos dados de entrada;
- Utilização de uma biblioteca padrão de distribuições que reflita fielmente a realidade;
- Definição da maneira como os valores coletados serão empregados na simulação.

De acordo com a sugestão de Jagstam e Klingstam (2002) e Oliveira Junior (2023), uma abordagem recomendada é o desenvolvimento de uma solução de tecnologia da informação capaz de assegurar a eficácia do processo de aquisição

de dados. Nesse contexto, a gestão adequada dos dados emerge como um requisito fundamental. Isso implica na administração cuidadosa de como os dados são compartilhados, disponibilizados e comunicados.

A ocorrência de dados redundantes ou pouco confiáveis representa desafios que requerem a consideração de sistemas integrados, visando proporcionar uma visão abrangente dos dados. Isso, por sua vez, visa a evitar a necessidade de usar estimativas ou dados irreais na atualização dos modelos de simulação, conforme apontado por Holst et al. (2001) e Laudon e Laudon (2023).

#### 2.3.4.2 Gestão dos Modelos de Simulação

Este grupo de boas práticas refere-se aos elementos de gestão que devem estar presentes neste processo de simulação dentro das organizações. Este suporte, via gestão, é importante para o processo de perenização, juntamente com os demais elementos:

- **Transferência de Tecnologia:**

Conforme argumentado por Ülgen (1991), a avaliação do sucesso de um projeto deve incluir a análise do processo de transferência de tecnologia. Isso se mostra especialmente crucial em projetos de desenvolvimento de *software*, como também destacado por Robinson (2002) e Ferreira et al. (2020). No contexto do desenvolvimento de modelos de simulação, é imperativo que, ao concluir o projeto, a organização esteja preparada para adotar e operar o modelo de forma autônoma, seja para fins de suporte, análise ou atualização, sem depender de assistência externa.

Para efetivar essa transição eficazmente, é essencial que ocorra uma transferência completa de tecnologia e que sejam realizados acompanhamentos regulares com os clientes. Dessa forma, a organização adquire a capacitação necessária para manter, atualizar e administrar todo o processo envolvido em um modelo de simulação computacional desenvolvido com o intuito de ser reutilizado, conforme ressaltado por Ülgen (1995) e Ferreira et al. (2020).

- **Cultura da empresa ou da unidade organizacional:**

Conforme ressaltado por Machado (2006) e Iszczuk et al. (2021), a implementação de projetos de simulação computacional em organizações pode

enfrentar desafios significativos. Em certos casos, experiências anteriores malsucedidas podem gerar resistência à ideia dentro do grupo organizacional.

De acordo com Johansson, Johnsson e Kinnander (2003) e Tammone et al. (2019), quando não há apoio interno para esse tipo de investimento, a simulação corre o risco de não se tornar uma ferramenta rotineira para os engenheiros de produção, algo que muitos especialistas apontam como uma perspectiva desejável.

É importante salientar que a manutenção e o aperfeiçoamento de modelos de simulação ao longo de um período prolongado só podem ocorrer se as condições organizacionais favorecerem esse processo, como observado por Mayer e Spieckermann (2010) e Müller et al. (2018). Portanto, é fundamental que a simulação seja integrada à estrutura organizacional das empresas de modo que os recursos necessários para todas as atividades associadas estejam prontamente disponíveis e sejam confiáveis, conforme a mesma fonte mencionada (MAYER E SPIECKERMANN, 2010; TAMMONE et al., 2019).

- **Acompanhamento do ciclo de vida do modelo:**

Machado (2006) refere-se a essas qualidades como "facilitadoras" da aplicação da simulação ao sistema sob análise. Em outras palavras, são fatores que, quando devidamente tratados, podem simplificar a implementação dessa técnica na empresa. Williams (1996) e Goldmeyer (2012), propõem o estabelecimento de uma infraestrutura de suporte interna para que a simulação se torne um processo interno da organização. Após a implementação da simulação na empresa, com o auxílio de uma infraestrutura que inclui manuais, competências e treinamentos, é crucial que esses recursos sejam mantidos e atualizados. Isso requer a constante atualização da documentação e dos materiais de treinamento, em conjunto com as melhorias no simulador (WILLIAMS, 1996; GOLDMEYER, 2012).

Um ciclo de *feedback*, envolvendo usuários ou fornecedores dos simuladores na organização, permite identificar as deficiências do modelo e realizar as melhorias necessárias. Nesse contexto, Mayer e Spieckermann (2010), assim como Goldmeyer (2012) recomendam a designação de responsáveis pela manutenção do simulador, bem como de uma pessoa encarregada das modificações no modelo de simulação.

Esses profissionais, após serem treinados e qualificados, devem dedicar um período considerável à simulação, aproximadamente de 2 a 3 anos, com uma

distribuição adequada das atividades relacionadas à modelagem, simulação e experimentação (MAYER E SPIECKERMANN, 2010; COSTA, 2022). Além disso, é importante promover a rotação de pessoal e o treinamento para garantir que o conhecimento ou *know how* adquirido não seja perdido caso um responsável pela simulação deixe a empresa (MAYER E SPIECKERMANN, 2010; GOLDMEYER, 2012).

- **Manuais e Documentação:**

Manuais de usuário e manutenção devem ser disponibilizados à organização, especialmente se esta planeja reutilizar o modelo de simulação. Além disso, a organização deve estabelecer um acompanhamento contínuo com a equipe de desenvolvimento para garantir que o modelo seja adequadamente utilizado em futuras experimentações ou aplicações (ÜLGEN et al., 1995; PENNA, 2023).

Um modelo de simulação abrangentemente documentado assume um papel vital e contínuo na gestão de um processo, permitindo que o retorno do investimento inicial, frequentemente substancial, possa ser gradualmente compensado (WILLIAMS, 1996; PENNA, 2023).

Para compreender os modelos desenvolvidos por outros, é crucial criar manuais ou guias que facilitem a replicação dos mesmos (KLINGSTAM E OLSSON, 2000; RANGEL et al., 2015). De acordo com estes mesmos autores, essa estrutura deve englobar:

- Uma biblioteca padrão que contenha todos os elementos para a construção do modelo, incluindo a padronização dos nomes dos objetos;
- Especificações sobre onde localizar os parâmetros, variáveis ou objetos relevantes;
- Em uma abordagem metodológica mais genérica, a criação de manuais que abordem a construção, análise e operação do modelo, descrevendo as ferramentas utilizadas nesse processo.

Outro fator que deve também ser documentado, segundo Klingstam e Olsson (2000) é a documentação das alterações do modelo, conforme forem sendo realizadas, estas devem constar fatores como:

- Nome do modelo utilizado;
- Versão, Data e hora;
- Motivo da mudança no modelo;

- Mudança efetivamente feita;
- As variáveis usadas como dados de entrada.

Dessa forma, a organização tem a capacidade de preservar o conhecimento e *know how* relacionado ao desenvolvimento, operação, manutenção e atualização dos modelos de simulação, reduzindo a dependência de um grupo ou indivíduo específico. Isso é crucial, visto que a saída repentina de um membro da equipe ou sua mudança de emprego pode resultar em prejuízos significativos para a empresa. Nesse cenário, a empresa precisaria investir recursos para recuperar o conhecimento necessário para reativar os modelos de simulação (MAYER E SPIECKERMANN, 2010).

- **Políticas de Padronização:**

Outro aspecto fundamental a ser considerado no processo de integração de um modelo de simulação na organização é a padronização. Conforme Williams (1996) e Bueno (2022) destacam, a fim de evitar a disseminação desordenada de ferramentas e linguagens de programação, a equipe responsável pela simulação deve especificar e recomendar ferramentas apropriadas para uso. No entanto, a utilização de *softwares* ou modelos de simulação a longo prazo apresenta desafios particulares, e vários fatores merecem atenção, conforme salientado por Mayer e Spieckermann (2010) e Silva (2006). Segundo os mesmos autores, alguns fatores referentes à padronização devem ser observados:

- É essencial que a equipe responsável, geralmente as áreas de TI (Tecnologia da Informação) disponibilize novas versões do *software* regularmente à organização, estabelecendo um intervalo padrão para as atualizações do modelo.

- No caso de modelos muito extensos e complexos, é recomendável a adoção de ciclos de atualização por blocos, a fim de facilitar o processo de manutenção.

- Deve haver diretrizes definidas para os nomes das versões do modelo, diretórios, pastas e arquivos relacionados à simulação, especialmente quando se lida com modelos de grande porte e complexidade.

Essa padronização desempenha um papel fundamental na preservação e continuidade dos modelos, evitando a proliferação desordenada de diferentes ferramentas, nomenclaturas e linguagens de programação.

### 2.3.4.3 Competências Técnicas e Treinamentos

Conforme Machado (2006) e Silva (2019), a aquisição de competências é um requisito essencial ao longo de todas as fases do projeto, desde a definição do problema até a realização de experimentos e a subsequente manutenção no ambiente de implantação. O desafio reside em assegurar que a organização detenha as competências adequadas para esse propósito.

Williams (1996) e Polidoro (2022), por sua vez, pela importância da criação de uma estrutura de suporte que permita à simulação se integrar como um processo intrínseco à empresa. Além disso, eles recomendam a colaboração com profissionais versados em estatística e processos, que possam trabalhar em conjunto com a equipe de simulação.

O treinamento tem como alvo a capacitação de novos usuários de simulação, e pode seguir duas abordagens distintas, como delineado por Williams (1996, p. 629; GOLDMEYER, 2012):

- a) Preparar o indivíduo para se tornar um cliente conhecedor de modelos de simulação e análise;
- b) Ensinar a pessoa a criar e analisar modelos de forma autônoma, de modo que seja autossuficiente em simulação.

Em outras palavras, o objetivo é habilitar a pessoa a realizar todas as etapas relacionadas à construção e análise de modelos de simulação computacional, prescindindo da assistência de especialistas externos em partes específicas do processo (WILLIAMS, 1996; GOLDMEYER, 2012)

A implementação da primeira opção é essencial como um pré-requisito para a segunda, porém, o inverso não se aplica. Conseqüentemente, múltiplos níveis de capacitação são necessários para fornecer conhecimento tanto aos gestores em relação à metodologia de modelagem de usuários, simulação e aplicação de ferramentas, quanto aos desenvolvedores de modelos iniciantes e especialistas (ÜLGEN et al, 1995 citado por WILLIAMS, 1996; GOLDMEYER, 2012).

- **Conhecimentos de Estatística:**

Machado (2006) e Fernandes (2009) enfatizam que, devido à necessidade de lidar com os dados de entrada e saída dos modelos de simulação, é fundamental contar com profissionais que possuam conhecimento na área de estatística, uma vez

que ferramentas estatísticas são utilizadas em todas as etapas, desde a validação até a experimentação dos modelos.

Dentro de uma infraestrutura de suporte, Williams (1996) e Goldmeyer (2012) acrescentam que qualquer projeto de simulação requer expertise em estatística. De acordo com esses autores, essa competência é essencial para realizar a coleta, análise e experimentação dos dados de saída do modelo, garantindo a execução e a interpretação adequadas desses dados.

- **Conhecimento de Modelagem:**

Visto que o sistema estudado está no estado físico e necessita ser convertido em um sistema computacional, é importante que a equipe tenha conhecimento consolidado de modelagem (MACHADO, 2006; ALVES et al., 2017; RODRIGUES et al., 2019). São estas pessoas que fazem a tradução do sistema analisado ou estudado para uma interface computacional onde o sistema passa a ser virtual.

Williams (1996) e Rodrigues (2022) ainda propõem a realização de um seminário de simulação com o objetivo de apresentar o conceito de simulação a engenheiros e gestores, abordando os seguintes tópicos:

1. Definição de simulação computacional.
2. O processo de simulação, incluindo suas etapas.
3. Explanação da relação entre simulação e estatística.
4. Apresentação da linguagem de programação utilizada e das ferramentas úteis no processo de simulação.

Considerando as ideias dos autores, este seminário faria com que a organização preparasse e disseminasse os atores. Esta expertise é útil para que todos, desde gestores de produção ou áreas de apoio, até especialistas de processo conheçam as possibilidades de modelagem, bem como suas respectivas limitações ou dificuldades quando o sistema estudado é muito complexo.

- **Conhecimento Técnico:**

O processo de modelagem de um sistema possui características particulares, e o modelador necessita da colaboração de especialistas no processo. Esses especialistas desempenham um papel fundamental ao explicar o funcionamento do sistema ao restante da equipe. Em casos de sistemas de grande complexidade, pode ser necessário envolver um maior número de especialistas para concluir o processo (MACHADO, 2006; GOLDMEYER, 2012).

Para obter benefícios máximos, a simulação deve ser incorporada como uma prática padrão nos processos de negócios das empresas, independentemente de serem relacionados à concepção, implementação, produção ou distribuição. Para viabilizar essa integração, o grupo interno responsável pela modelagem de simulação deve estabelecer uma colaboração estreita com os especialistas da empresa e utilizar princípios de gerenciamento de projetos (MACHADO, 2006; GOLDMEYER, 2012). Esses especialistas desempenham um papel crucial na construção do modelo e, posteriormente, tornam-se usuários quando o modelo estiver completamente desenvolvido.

- **Habilidades Computacionais:**

Quando ocorre um projeto de simulação, este imprescindivelmente necessita de alguma interface computacional. Assim, esta competência é indispensável para qualquer projeto de simulação computacional. (MACHADO, 2006; BARBOSA et al., 2022).

Esse aspecto também é destacado nos estudos de Robinson (2002) e Goldmeyer (2012), que identificam algumas características essenciais de um modelo com potencial de reutilização, demandando indivíduos com proficiência em linguagens de programação, ou seja, habilidades computacionais. A habilidade predominante em projetos do tipo abordado nesta pesquisa, que envolve o "desenvolvimento de um modelo para reutilização", é a competência no desenvolvimento desse modelo. Esse profissional desempenha um papel crucial na tradução do sistema real, objeto de observação e estudo, para um modelo computacional representado na forma de *software*.

### 2.3.5 SINTESE DOS AUTORES E TRABALHOS RELACIONADOS

Na tabela a seguir é possível observar uma compilação dos autores relacionados a cada um dos assuntos visto até então, assim como uma síntese dos trabalhos relacionados.

Tabela 3 – Síntese dos autores Simulação de Eventos Discretos

<b>CONCEITO</b>	<b>AUTOR</b>
SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS	(LAW E KELTON, 1991)
	(WILLIAMS, 1996)
	(BANKS, 1998)
	(PIDD, 1998)
	(BANKS, 2000)
	(FILHO, 2001)
	(JAGSTAM E KLINGSTAM, 2002)
	(JOHANSSON ETL AL., 2003)
	(CARSON, 2004)
	(BANKS, 2005)
	(CHWIF; MEDINA, 2010)
	(BATEMAN ET AL., 2013)
	(RANDON ET AL., 2019)
	(HOLST, 2021)
	(FRANK, 2022)
	(GARBIN ET AL., 2022)
(ARAUJO, 2023)	
(AMARAL, 2021)	
ETAPAS DO ESTUDO DE SIMULAÇÃO	(MEIRELLES ET AL., 2009)
	(BANKS, 2009)
	(MONTEVECHI, 2010)
	(LAW, 2014)
	(VIEIRA, 2016)
REQUISITOS PARA O FUNCIONAMENTO DE MODELOS	(ÜLGEN ET AL., 1995)
	(WILLIAMS, 1996)
	(KLINGSTAM E OLSSON, 2000)
	(ROBINSON, 2002)
	(MAYER E SPIECKERMANN, 2010)
	(RANGEL ET AL., 2015)
	(ALVES ET AL., 2017)
	(MÜLLER ET AL., 2018)
	(TAMMONE ET AL., 2019)
	(RODRIGUES ET AL., 2019)
	(FERREIRA ET AL., 2020)
	(ISZCZUK ET AL., 2021)
	(BARBOSA ET AL., 2022)
	(BUENO, 2022)
	(FRONTELI ET AL., 2022)
	(POLIDORO, 2022)
	(RODRIGUES, 2022)
(OLIVEIRA JUNIOR, 2023)	
(LAUDON E LAUDON, 2023)	
(MORAIS, 2023)	
(PENNA, 2023)	

Fonte: o Autor, 2024.

Tabela 4 – Síntese dos trabalhos relacionados Simulação de Eventos Discretos

CONCEITO	TRABALHOS RELACIONADOS	AUTORES
SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS	Simulation eliminates need for na \$80,000 machine and conveyor investment	(BOBLITZ, 1991)
	Avaliação de capacidade de fluxo: sistemas de armazenagem automático	(LOPES, 1999)
	Utilização da simulação em ARENA 7.0 no auxílio ao balanceamento da célula de montagem de uma fábrica de calçados	(ALMEIDA ET AL., 2006)
	A inserção da simulação computacional no planejamento hierárquico de cadeias de suprimentos	(MACHADO, 2006)
	Método para avaliação e seleção de softwares de simulação de eventos discretos aplicados à análise de sistemas logísticos	(SILVA, 2006)
	Simulação computacional: análise de um sistema de manufatura em fase de desenvolvimento	(OLIVEIRA, 2007)
	Um modelo de simulação de sistemas aplicado à programação da produção de um frigorífico de peixe	(PEREIRA; COSTA, 2012)
	Mapeamento do Fluxo de Valor e Simulação para implementação de práticas Lean em uma Empresa Calçadista	(LIMA ET AL., 2016)
	Estudo comparativo entre layouts sob a ótica da Teoria das Restrições com apoio da simulação computacional de eventos discretos em Empresa de alimentos	(ASSUNPÇÃO; JACOBS, 2019)
	A Simulação Computacional Como Ferramenta De Auxílio À Tomada De Decisão Na Produção De Elementos Pré-Fabricados	(RUIZ, 2019)
	Arranjo Físico: proposta de reformulação do arranjo físico de uma empresa do setor metalúrgico	(SILVA, 2019)
	Modelagem e simulação de sistemas a eventos discretos utilizando redes de Petri coloridas: uma aplicação para o sistema da Ferrovia Norte Sul	(SIMÃO, 2020)
	Aumento de produtividade em um sistema de produção através da simulação computacional	(SUZEK EI AL., 2020)
	Análise de produtividade em uma fundição à luz do Lean Manufacturing com o suporte da Simulação de Eventos Discretos	(CORREIA, 2021)
	Estudo do arranjo físico de uma empresa de fabricação de esquadrias de alumínio	(SILVA, 2021)
	Proposta De Layout De Indústria Náutica Com O Tecnomatix Plant Simulation	(COSTA, 2022)
	ETAPAS DO ESTUDO DE SIMULAÇÃO	O uso da simulação computacional aplicada à programação da produção em uma fábrica de pequeno porte
Combinação de Técnicas: Otimização-Simulação em uma Empresa do Setor Automotivo		(FARIA ET AL., 2019)
Utilização Da Simulação A Eventos Discretos No Dimensionamento De Um Layout Celular		(MAURICIO, 2013)
A Simulação Computacional Como Ferramenta De Auxílio À Tomada De Decisão Na Produção De Elementos Pré-Fabricados		(RUIZ, 2019)
REQUISITOS PARA FUNCIONAMENTO DE MODELOS	Proposta De Layout De Indústria Náutica Com O Tecnomatix Plant Simulation	(COSTA, 2022)
	Modelagem, Otimização E Simulação de Uma Área De Picking	(GAMARRA, 2021)
	<i>Integrating simulation into manufacturing system development: a methodological framework</i>	(HOLST, 2001)
	Construção estrutura de governança para uso continuado de modelos simulação computacional por intermédio processo de pensamento teoria das restrições	(GOLDMEYER, 2012)
	Método para avaliação e seleção de softwares de simulação de eventos discretos aplicados à análise de sistemas logísticos	(SILVA, 2021)
	Proposta de método para implantação de projetos de transformação digital	(CORDEIRO, 2022)

Fonte: o Autor, 2024.

### 3 METODOLOGIA

Sempre objetivando demonstrar rigor de pesquisa e confiabilidade nos achados, a escolha do método de pesquisa tem papel fundamental para o reconhecimento do estudo pela comunidade científica (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JÚNIOR, 2015).

A metodologia refere-se à estruturação e aos caminhos a serem seguidos para a realização de uma pesquisa ou estudo, sendo essencial para a prática científica. Etimologicamente, o termo significa o estudo dos meios e instrumentos empregados na condução de uma investigação científica (GERHARDT e SILVEIRA, 2009).

É importante destacar que metodologia não deve ser confundida com método. Enquanto o método está relacionado aos procedimentos específicos adotados, a metodologia preocupa-se com a validade e a adequação do percurso escolhido para atingir os objetivos da pesquisa, abrangendo aspectos que vão além do conteúdo e dos processos.

Assim, as considerações metodológicas podem ser divididas em dois componentes principais: o método de pesquisa, que se refere à escolha da estratégia de investigação; e o método de trabalho, que abrange a forma como a pesquisa é conduzida e desenvolvida.

#### 3.1 METODOLOGIA DE PESQUISA

De acordo com Dresch et al. (2015), a pesquisa-ação caracteriza-se como um estudo de natureza empírica, cuja concepção e realização ocorrem em estreita relação com a resolução de um problema coletivo. Nessa abordagem, pesquisadores e participantes representativos da situação investigada atuam de forma cooperativa ou participativa (THIOLLENT, 2009). Em geral, esse método tem como objetivo direcionar a solução de um problema organizacional específico (EDEN & HUXHAM, 1996).

O objeto de pesquisa deste estudo foi uma manufatura do setor automotivo, e a abordagem metodológica adotada foi a pesquisa-ação, de natureza qualitativa (PRODANOV & FREITAS, 2013). Thiollent (2011) recomenda a pesquisa-ação para

investigações que buscam soluções para problemas reais, destacando-a como um instrumento para trabalho e investigação em grupos, instituições e coletividades. Essa abordagem, portanto, tem caráter empírico e se volta tanto para a descrição de situações concretas quanto para a intervenção e a ação orientada à resolução de problemas efetivamente identificados nas organizações (THIOLLENT, 2011, p. 14-15). Além disso, a pesquisa-ação possibilita a explicitação do conhecimento tácito dos envolvidos no estudo.

No contexto da pesquisa-ação, o pesquisador desempenha um papel ativo na identificação do problema, no acompanhamento das ações implementadas e na avaliação posterior das soluções propostas. O objetivo não se restringe à investigação de uma situação social ou ao esclarecimento de um problema; busca-se também ampliar o conhecimento tanto dos pesquisadores quanto dos indivíduos e grupos envolvidos (THIOLLENT, 2011, p. 21).

Os procedimentos metodológicos adotados neste estudo seguiram as quatro fases propostas por Susman e Evered (1978) e Thiollent (1997), adaptadas ao contexto da pesquisa: exploração, aprofundamento, ação e avaliação.

Na fase exploratória, foi realizado o diagnóstico da situação-problema, o que incluiu a elaboração do projeto de pesquisa, correspondendo à Etapa 1 deste trabalho.

A fase de aprofundamento consistiu na revisão da literatura, cujo objetivo foi identificar os principais artefatos relacionados ao estudo. Essa fase, correspondente à Etapa 2, e forneceu embasamento teórico para a fase subsequente.

Na fase de ação, foram identificados e estruturados os artefatos previamente mapeados, de modo a estabelecer uma sequência lógica para a aplicação do planejamento de *layout*, das etapas do estudo de simulação e das boas práticas para o gerenciamento de modelos de simulação. Essa fase está relacionada à Etapa 3 deste trabalho.

Por fim, na fase de avaliação, correspondente à Etapa 4, os artefatos foram aplicados em um estudo piloto na empresa, com o propósito de testar sua integração e eficácia.

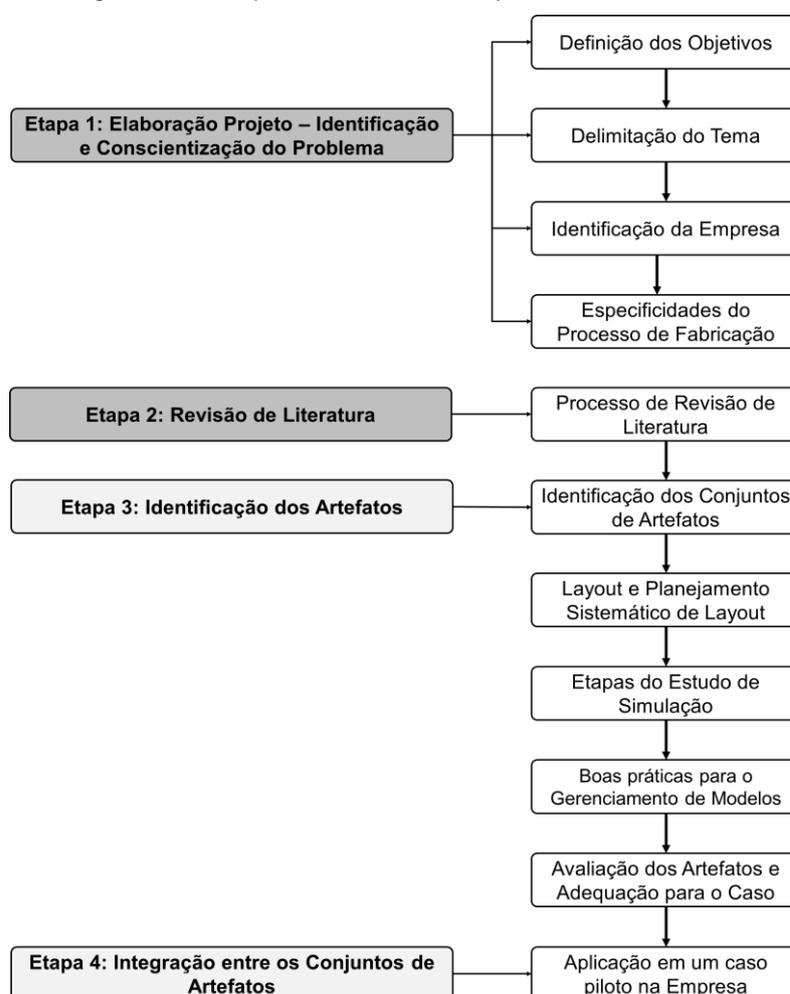
Para que a pesquisa-ação atinja seus objetivos, é fundamental que as etapas metodológicas sejam rigorosamente cumpridas. No próximo tópico, foram

detalhadas as etapas adotadas nesta pesquisa, cuja estruturação se baseou, além das referências já mencionadas, no trabalho de Junqueira Vilela (2019).

### 3.2 MÉTODO DE TRABALHO

O método de trabalho apresenta o conjunto de técnicas e procedimentos que foram seguidos na pesquisa. No método de trabalho são determinadas as etapas lógicas que o pesquisador seguirá para alcançar os objetivos da pesquisa (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JÚNIOR; 2015). A Figura abaixo representa o fluxograma das etapas do método de trabalho para esta Pesquisa-ação.

Figura 27 – Etapas do Trabalho, Objetivos e suas saídas



Fonte: Elaborada pelo autor (2024) com base no trabalho de Junqueira Vilela (2019).

Como identificado na figura acima, a etapa 1 deste estudo foi a de Elaboração do Projeto, Identificação e Conscientização do Problema, compostas pelas seguintes sub etapas:

- **Definição dos Objetivos:** Foram estabelecidos os objetivos do estudo, garantindo que sejam específicos, mensuráveis, alcançáveis, relevantes e temporais (SMART).
- **Delimitação do Tema:** Foram definidos os limites e o escopo do estudo, especificando o que será abordado e o que ficou fora do escopo.
- **Identificação da Empresa:** Foi escolhida uma empresa para a realização da pesquisa-ação, incluindo a descrição do setor, tamanho, localização e outros dados relevantes.
- **Especificidades do Processo de Fabricação:** Foi detalhado o processo de fabricação da empresa, abrangendo as etapas de produção, recursos utilizados e desafios ou características específicas a serem considerados.

Na etapa 2, referente a Revisão de Literatura: Foi realizada uma análise detalhada da literatura existente sobre os temas principais do estudo. Isso incluiu a identificação de teorias, modelos, metodologias e estudos de caso relevantes, bem como a análise crítica das fontes e a síntese das informações coletadas. Também foram identificadas lacunas na pesquisa atual que o estudo pretende abordar.

A etapa 3 do trabalho se refere a Identificação dos Artefatos, divididas dentro do tópico de Resultados, da seguinte forma:

- **Identificação dos Conjuntos de Artefatos:** Foram listados e descritos os artefatos (ferramentas, métodos, práticas) que foram utilizados ao longo do estudo, incluindo modelos de simulação e metodologias de planejamento de *layout*.
- **Layout e Planejamento Sistemático de Layout:** Foi desenvolvido um plano detalhado para o *layout* do espaço físico na empresa, aplicando o SLP. O plano considerou a eficiência do fluxo de trabalho, a otimização do espaço e a integração com os processos existentes.
- **Etapas do Estudo de Simulação:** Foram definidas as etapas específicas do estudo de simulação, desde a construção do modelo até a execução de experimentos e análise dos resultados. Isso incluirá a escolha do *software* de simulação, a coleta de dados, a construção do modelo, e a validação e verificação dos resultados.

- **Boas práticas para o Gerenciamento de Modelos:** Foram descritas as melhores práticas identificadas para o gerenciamento dos modelos de simulação, incluindo documentação, manutenção e atualização. Foi definida uma política de versionamento e proposto uma forma de trabalho padronizada os estudos de simulação.
- **Avaliação dos Artefatos e Adequação para o Caso:** Os artefatos identificados foram avaliados e ajustados conforme necessário para garantir sua adequação a pesquisa específica na empresa. Isso incluiu a personalização de modelos, adaptação de metodologias e criação de novos artefatos.

Na etapa 4, foi abordado a Integração entre os Conjuntos de Artefatos através da Aplicação em um Caso Piloto na Empresa, onde foi realizado um estudo piloto em uma linha de produção, para testar a integração e a eficácia dos artefatos. Durante o piloto, todos os artefatos foram aplicados em conjunto para avaliar sua viabilidade e desempenho no ambiente real. Os resultados obtidos foram analisados para identificar e implementar ajustes finais antes da replicação das estruturas em outras linhas de produção.

### 3.3 IDENTIFICAÇÃO E CONSCIENTIZAÇÃO DO PROBLEMA

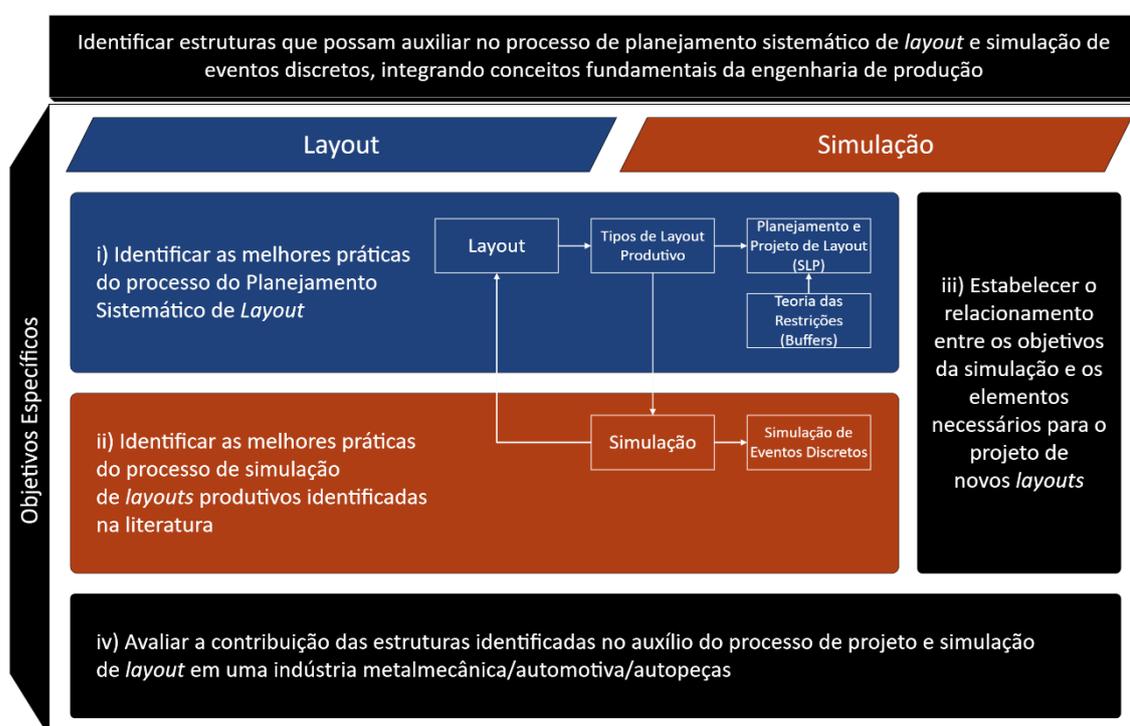
A primeira etapa deste estudo pode ser relacionada à elaboração do projeto, com o objetivo de identificar e compreender o problema central que foi abordado. Nesse contexto, foram definidos os objetivos específicos do trabalho, garantindo que cada um esteja alinhado às necessidades da pesquisa.

Além disso, foi delimitado o tema e escopo do estudo, estabelecendo com clareza os limites do que foi investigado. A empresa selecionada para a pesquisa foi descrita em detalhes, com foco no setor de atuação, tamanho e principais características. Por fim, as especificidades do processo de fabricação da empresa foram analisadas, a fim de fornecer um entendimento aprofundado das operações e dos desafios que foram abordados ao longo do trabalho.

### 3.3.1 DEFINIÇÃO DOS OBJETIVOS

Conforme destacado no Tópico 1.2 - Objetivos, o objetivo central deste estudo foi identificar estruturas que possam auxiliar no processo de planejamento sistemático de *layout* e simulação de eventos discretos, integrando conceitos fundamentais da engenharia de produção. Para viabilizar a execução dessa pesquisa, o objetivo geral foi desdobrado em quatro objetivos específicos, para um melhor entendimento, ilustrados na figura abaixo e pontuados no início do trabalho:

Figura 28 – Objetivos do Trabalho e Relação com o Referencial teórico



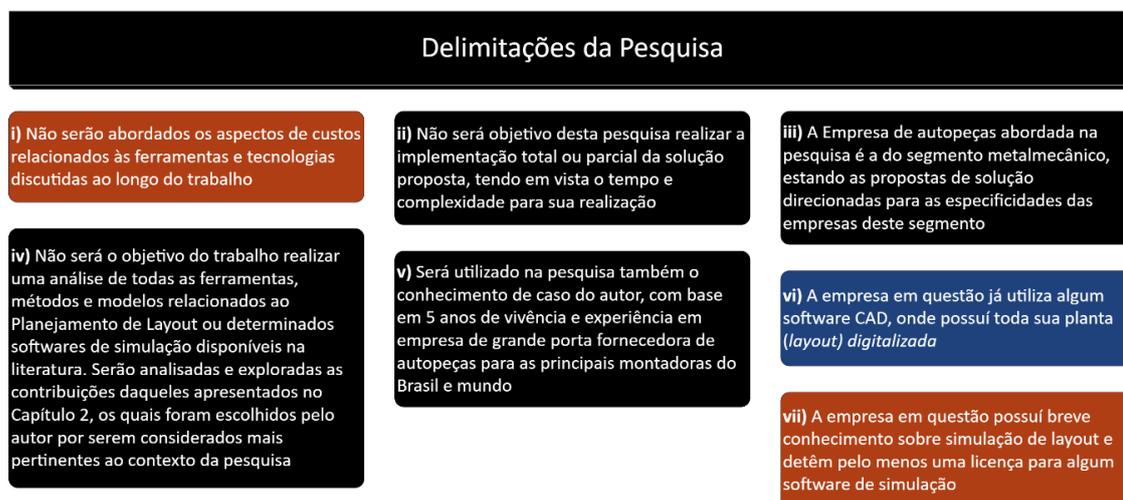
Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

### 3.3.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Conforme destacado no Tópico 1.4 - Delimitações, esta pesquisa reúne e discute temas amplamente abordados tanto na literatura quanto no cotidiano das organizações. Para garantir que o estudo tenha sido desenvolvido de maneira adequada e focada, algumas delimitações são necessárias. O contexto da pesquisa abrange o Planejamento Sistemático de *Layout* na indústria de autopeças, buscando relacionar estes conceitos com a Simulação de Eventos Discretos.

A seguir, são apresentados os principais aspectos que delimitam o escopo desta pesquisa-ação, ilustrados através da figura e pontuados no início do trabalho:

Figura 29 – Delimitações do Estudo



Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

### 3.3.3 IDENTIFICAÇÃO DA EMPRESA

A presente pesquisa foi aplicada em uma empresa do ramo metal mecânico, localizada no Noroeste do estado do Rio Grande do Sul - Brasil, fornecedora de produtos estampados, soldados e pintados a diversos clientes dos segmentos automotivo, rodoviário, agrícola e construção. A empresa foi fundada em 1947.

A empresa entre 1947 e 1967 dedicava-se à manutenção de equipamentos agrícolas importados e, nos anos seguintes, à construção de pequenas máquinas agrícolas e de beneficiamento de madeiras.

Em 1967, com a nacionalização das colheitadeiras automotrizes, começou a produção de componentes para essas máquinas. Em 1984, ela passou a fornecer componentes para tratores. Em 1988, iniciou o fornecimento de peças para caminhões. Em 1995, começou a produção de peças para automóveis. A partir de 2012, ingressou num novo segmento, fornecendo peças para a indústria do ramo de construção. Após a estabilização macroeconômica, iniciada em 1994, a Empresa passou por uma intensa fase de crescimento, sem paralelo em seus 75 anos de existência (SCHMIDT JUNIOR et al., 2017; ARQUIVOS DA EMPRESA, 2024).

A Empresa nacional de grande porte do segmento de autopeças, com uma única planta, atua no fornecimento de peças e conjuntos metálicos para grandes

montadoras de 4 segmentos do mercado distintos: Automotivo, Rodoviário, Agrícola e Construção Civil (BENETTI, 2021; ARQUIVOS DA EMPRESA, 2024).

A empresa possui diversos processos de manufatura para atender as necessidades de seus clientes, citando: desbobinador, corte por guilhotina, corte por laser e plasma, estampagem, dobra, usinagem, solda mig/mag (manual e robotizada), solda por resistência, linhas de pintura e-coat, pó e líquida, montagem de conjuntos, entre outros. Na imagem abaixo é possível observar uma foto área da Empresa, com suas duas fábricas I e II (BENETTI, 2021; ARQUIVOS DA EMPRESA, 2024).

Figura 30 – Foto área da Empresa



Fonte: Arquivos da Empresa, 2024.

Atualmente a Empresa é especializada em oferecer soluções em processos de manufatura aos seus clientes, não sendo responsável por desenvolver o *design* dos produtos que fornece. Entretanto, vem apoiando alguns projetos de seus clientes com *co-design*, e desenvolvendo algumas atividades para também, futuramente, oferecer soluções completas aos seus clientes, como projeto de produto ou produtos próprios (BENETTI, 2021; ARQUIVOS DA EMPRESA, 2024).

### 3.3.3.1 Especificidades do Processo de Fabricação

Quanto as especificidades do Processo de Fabricação da Empresa em questão, pode-se descrever algumas informações importantes, que impactam na

forma como o trabalho é conduzido e conseqüentemente aumentam a complexidade dos estudos de simulação e planejamento de *layout*.

Atualmente, a Empresa é dividida em 5 grandes Unidades de Negócio, responsáveis por atuar em 4 segmentos de mercado distintos. Quanto a suas Unidades de Negócio, de acordo com o site da Empresa, são divididas em (ARQUIVOS DA EMPRESA, 2024):

- **Unidade Agrícola:**

A Unidade Agrícola é pioneira dentro da Empresa, sendo o segmento em que iniciou sua atuação. Atendendo as gigantes de mercado, a Unidade possui expertise no desenvolvimento e fabricação de peças e componentes de alta complexidade para tratores, colheitadeiras e plantadeiras. Representa 27% do faturamento da Empresa e conta com cerca de 600 colaboradores.

- **Unidade Automotivo:**

A Unidade Automotivo desenvolve e produz componentes em metal para montadoras e sistemistas do segmento de automóveis. Representando 8% do faturamento Empresa, tem como diferencial o seu parque fabril de alta tecnologia em processos, além de produzir peças presentes nos modelos de grande circulação. Além disso, tem cerca de 270 colaboradores atuando em seus processos.

- **Unidade Construção:**

A Unidade Construção desenvolve e produz mais de 60 produtos destinados a duas grandes montadoras do segmento. Com uma área fabril de mais de 30 mil metros quadrados, a Unidade conta com 284 colaboradores e representa 16% do faturamento total da Empresa.

- **Unidade Rodoviário:**

A Unidade Rodoviário fabrica peças e conjuntos metálicos fornecendo para indústria de veículos de transporte de carga e pessoas, incluindo caminhões leves, pesados e ônibus, para os principais clientes do Brasil e do mundo. Representando 30% do faturamento, conta com 580 colaboradores, a Unidade Rodoviário produz componentes para cabines, chassis, para-choques entre outros produtos.

- **Unidade Tanques:**

A Unidade de Tanques de Combustível dedica-se a fabricação de tanques em alumínio para sistemas rodoviários. O fornecimento é direcionado para as principais montadoras do país e do mundo. Ela representa 19% do faturamento, produzindo

mais de 86 modelos diferentes de tanques em uma área fabril de 3.000m<sup>2</sup> e conta com cerca de 200 colaboradores.

Além de suas Unidades de Negócio, ligadas diretamente a produção, a Empresa possui uma área de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação, esta, tem a missão de buscar de forma contínua o desenvolvimento tecnológico dos seus processos e produtos, reduzindo custos, maximizando a produtividade e entregando o máximo em qualidade, promovendo transformações concretas na empresa, conectando pessoas e tecnologias através do fomento à inovação. Para isso, possuem um Centro de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação que detém de uma estrutura completa. Integrando um moderno laboratório para análises de materiais com espaço de *coworking* e convivência com salas interativas, pensando em ser um espaço acolhedor e aberto para a troca de ideias e inovação, fomentando a parceria de Universidades, Fornecedores, Clientes, entre outros (ARQUIVOS DA EMPRESA, 2024).

Para atender o processo de produção de todas suas Unidades de Negócio, a Empresa fabrica peças e componentes metálicos transformando metais e desenvolvendo soluções em conjunto com os clientes, tendo tecnologia para simular peças estruturais, conformação, *layout* e fluxos de manufatura e performance de robôs de solda (ARQUIVOS DA EMPRESA, 2024).

Todo esse desenvolvimento dos processos de manufatura, acontece em um complexo industrial de 135 mil metros quadrados de área construída, divididos em 2 grandes fábricas, compostas por equipamentos de alta tecnologia. Podendo citar, de acordo com seu site, os principais abaixo (ARQUIVOS DA EMPRESA, 2024):

- **Estamparia e Usinagem:**

Dentro da área de processos de estamparia e usinagem, há métodos e processos que credenciam a equipe a estar sempre um passo à frente na solução dos problemas e desafios dos clientes. A área de engenharia de estamparia e usinagem conta com profissionais especialistas em cada processo de produção. Na área manufatureira da estamparia, é utilizada a mais alta tecnologia.

- **Laser 2D e 3D:**

Na área de processo de corte a laser, há 14 máquinas de alta tecnologia, com potência variando de 3kW a 12kW, equipadas com sistemas automáticos de carga e

descarga de materiais. Para processos complexos, é utilizada a tecnologia de corte a laser 3D, com a disponibilidade de 3 máquinas de alta precisão.

- **Plasma e Oxicorte:**

Para chapas de maior espessura, são utilizados os processos de corte a plasma e oxicorte, com um total de 6 máquinas de diferentes comprimentos.

- **Prensas:**

No processo de estamparia, há um total de 50 prensas com capacidades que variam de 80 a 1200 toneladas.

- **Dobradeiras:**

Há 12 dobradeiras disponíveis, com tamanhos variados, atingindo até 4 metros de comprimento.

- **Puncionadeiras:**

No parque fabril, também estão disponíveis 2 puncionadeiras automáticas.

- **Usinagem:**

Para o processo de torneamento, a Empresa dispõe de diversos modelos de tornos CNC, que permitem a manufatura de peças cilíndricas com diâmetros que variam de pequenos até superiores a 400 mm. No fresamento, a Empresa utiliza centros de usinagem que abrangem peças de grande, médio e pequeno porte.

- **Ferramentaria:**

A Empresa possui uma área de ferramentaria, responsável por projetar e fabricar as ferramentas de estampo e dispositivos de robôs de solda que são utilizados em nossas máquinas na fabricação de peças. Esta área constitui um diferencial, uma vez que agiliza os processos de desenvolvimento de novos produtos e garante ajustes e maior precisão na manufatura.

- **Solda:**

A Empresa dispõe de mais de 150 robôs de solda, distribuídos entre soldagem Mig/Mag, soldagem por resistência, manipulação de peças por braço robótico e rebitagem. Muitos desses robôs estão integrados em células de produção, proporcionando agilidade e versatilidade ao processo.

Além disso, a Empresa emprega tecnologias avançadas, como leitura por laser, soldagem com correção de trajetória offline e online, robôs equipados com leitor e seguidor de junta pelo arco, e sincronização de múltiplos eixos.

A Engenharia de Soldagem da Empresa é focada no desenvolvimento de novos produtos e conta com um laboratório completo para a realização de ensaios e análises. A infraestrutura laboratorial inclui áreas dedicadas ao corte com plasma, serras e lixas para a seccionamento das peças, polimento, ataque químico para revelação de micro e macrografias, e microscópios exclusivos para a análise de imagens metalográficas. O quadro técnico é altamente treinado e capacitado para conduzir essas atividades.

No que se refere à simulação de processos robotizados, a Empresa é capaz de projetar dispositivos de fixação para soldagem, prever possíveis colisões que possam danificar os equipamentos, otimizar as posições dos robôs dentro de uma célula de produção e obter parâmetros essenciais para o processo.

- **Pintura:**

As linhas de pintura contam com suporte diário da equipe de Engenharia, que realiza análises de acompanhamento em colaboração com o Laboratório de Tratamento de Superfícies. Este laboratório também é equipado com câmaras para a realização de ensaios, incluindo *salt spray*, corrosão cíclica, teste de umidade e teste de envelhecimento acelerado, possibilitando a homologação e revalidação interna de diversos processos de tratamento superficial. Os seguintes processos de pintura são utilizados: Linha de pintura E-Coat 01 que opera de maneira contínua; Linha de pintura E-Coat 02 que opera de modo estacionário e a pintura da Fábrica 2, também operando de forma estacionária, foi projetada para peças maiores, atendendo a itens estruturais de chassis, por exemplo.

Além disso, possui uma linha de pintura líquida, com 10 padrões de cores que opera de modo contínuo e 3 linhas de pintura a pó com mais de 20 padrões de cores homologados.

A partir da utilização e combinação desses processos a Empresa realiza a manufatura de todas suas peças, posteriormente vendidas para seus clientes, conforme pedidos. Basicamente, seu processo de manufatura inicia com a entrada de matéria prima nos processos primários (desbobinamento de chapas, corte plasma ou laser), logo após as peças serem cortadas, elas passam para o processo de dobra ou conformação/estampagem. Dependendo da complexidade de cada peça, ainda, podem passar pelo processo de Usinagem. Logo após esses processos serem

concluídos, geralmente as peças vão para um depósito ou também chamado de supermercado de peças.

Posteriormente após essas peças ou componentes estarem no supermercado de peças conforme planejamento, são separadas e enviadas para as linhas de solda, responsáveis pela formação dos conjuntos, além de peças singelas que são enviadas diretamente aos clientes, ou seja, não necessitando de processos posteriores de solda ou pintura.

Na maioria dos casos, as peças que passam pelas linhas de solda, são soldadas em Linhas de produção cativas para a família de produto, por exemplo, Linhas de produção/solda de Para-choques, responsáveis pela produção de vários modelos, tipos, e códigos de para-choques diferentes. Outras, compartilham postos de trabalhos entre linhas de produção, ocasionando em mais complexidade para o processo produtivo, planejamento, logística e *layout*.

Após os conjuntos serem soldados nas Linhas de solda, as peças são enviadas para o processo de pintura, onde são carregadas em sistemas de transporte área de peças, no caso, monovias que levam as peças até o sistema de pintura, podendo ser, líquida, pó ou e-coat. Após as peças serem pintadas, retornam para as linhas de descarregamento da pintura, onde são enviadas para a inspeção e posterior embalagem. Após as peças serem embaladas, são enviadas para a expedição, onde embarcam nos caminhões das transportadoras, responsáveis pela entrega até o cliente final, distribuídos em todo país.

Na imagem abaixo, segue uma ilustração simplificada de como acontece a manufatura das peças produzidas pela Empresa com as principais etapas do processo de produção.

Figura 31 – Fluxo produtivo macro da Empresa



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

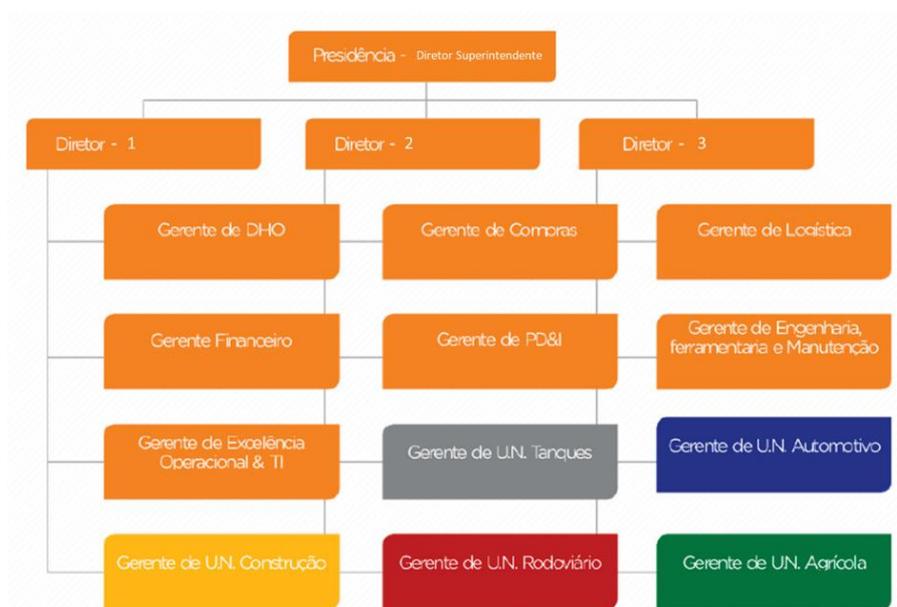
A Empresa é certificada pelas normas *International Organization for Standardization* (ISO) 9001, *International Automotive Task Force* (IATF) 16949 e ISO 14001. Possui seu sistema de gestão integrado com base na *Occupational Health and Safety Assessment Services* (OHSAS) 18001. Seu propósito é gerar

prosperidade conectando pessoas e tecnologias. A empresa busca ser percebida como fornecedora das melhores soluções de produtos e serviços para os clientes, utilizando modernas tecnologias de processo e conhecimento, agregando valor contínuo ao negócio.

Cada uma das 5 Unidades de Negócio da Empresa, possui um Gerente responsável pela Engenharia, Comercial, Manutenção, Planejamento, Produção e demais áreas, compostas por times liderados por Coordenadores e Líderes de Produção. Além dos Gerentes das Unidades de Negócio, a empresa possui outras Gerências, de áreas denominadas corporativas, como, Gerente de DHO (Desenvolvimento Humano e Organizacional), Gerente Financeiro, Gerente de Excelência Operacional & TI, Gerente de Compras, Gerente de Pesquisa Desenvolvimento & Inovação, Gerente de Logística e Gerente de Engenharia, Ferramentaria e Manutenção.

Todas as Gerências citadas acima, estão ligadas a 3 Diretores e e consequentemente ao Presidente, ou Diretor Superintendente (CEO), conforme organograma exemplificado abaixo.

Figura 32 – Estrutura organizacional da Empresa



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos arquivos da Empresa, 2024.

As Unidades de Negócio da Empresa abastecem as principais montadoras do país e do mundo, consolidando a empresa como um *player* relevante na indústria de autopeças brasileira. Todas as peças fornecidas são fabricadas nas duas fábricas situadas no mesmo parque industrial, o que, aliado ao alto volume de produção,

impõe desafios significativos. Em muitos casos, há o compartilhamento de maquinário entre as Unidades de Negócio, especialmente em processos de corte, dobra, conformação, usinagem e pintura.

Esse cenário exige um planejamento meticuloso e integrado do processo produtivo, que é caracterizado por sua alta complexidade. A gestão eficiente desses recursos compartilhados e a coordenação entre as diversas etapas produtivas são fundamentais para garantir a eficiência e a continuidade das operações, minimizando gargalos e maximizando a produtividade.

Devido ao fato de seus principais clientes serem grandes montadoras, a Empresa é constantemente pressionada a manter-se atualizada tecnologicamente. Cada novo lançamento no mercado por parte dessas montadoras exige adaptações nas peças fabricadas pela empresa, que deve atender rigorosamente às novas especificações técnicas, requisitos de ferramentaria e prazos de entrega. Essas mudanças frequentemente demandam ajustes no processo produtivo, incluindo, em muitos casos, alterações no *layout* das linhas de produção para garantir a eficiência e a conformidade com as exigências do cliente.

Aliado a estes fatores a empresa conta com diversas tecnologias para suportar seu Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP) e demais atividades, atualmente detém um aparato de *softwares* CAD, CAM e CAE de última geração, para suportar o planejamento de seus processos. Além disso, dispõe de *software* para simulação de eventos discretos (SED) (BENETTI, 2021; ARQUIVOS DA EMPRESA, 2024).

A empresa já utiliza a simulação de eventos discretos em alguns casos específicos, mas essa ferramenta ainda é subutilizada, apesar de seu grande potencial de aplicação e capacidade de gerar valiosas contribuições. Há, portanto, um vasto campo de oportunidades para ampliar o uso dessa tecnologia, especialmente no suporte a decisões complexas (OLIVEIRA, 2023). Este trabalho visa estruturar e incentivar a adoção mais frequente da simulação computacional de *layouts* produtivos, integrando-a ao cotidiano da empresa. A simulação pode desempenhar um papel fundamental no processo decisório, porém, muitas vezes, seu uso é insuficiente ou limitado.

Durante o período em que a pesquisa foi conduzida, observou-se que o *software* utilizado pela empresa para simulação de fluxos produtivos, o *Plant*

*Simulation*, ainda era pouco utilizado. O *Plant Simulation*, desenvolvido pela *Siemens Digital Industries Software*, é uma ferramenta robusta para modelar, simular, analisar, visualizar e otimizar sistemas produtivos, fluxos de materiais e operações logísticas (PLM SIEMENS, 2023). O subaproveitamento desse *software* revela uma oportunidade significativa para sua integração nos processos produtivos da empresa, permitindo uma tomada de decisão mais fundamentada e estratégica.

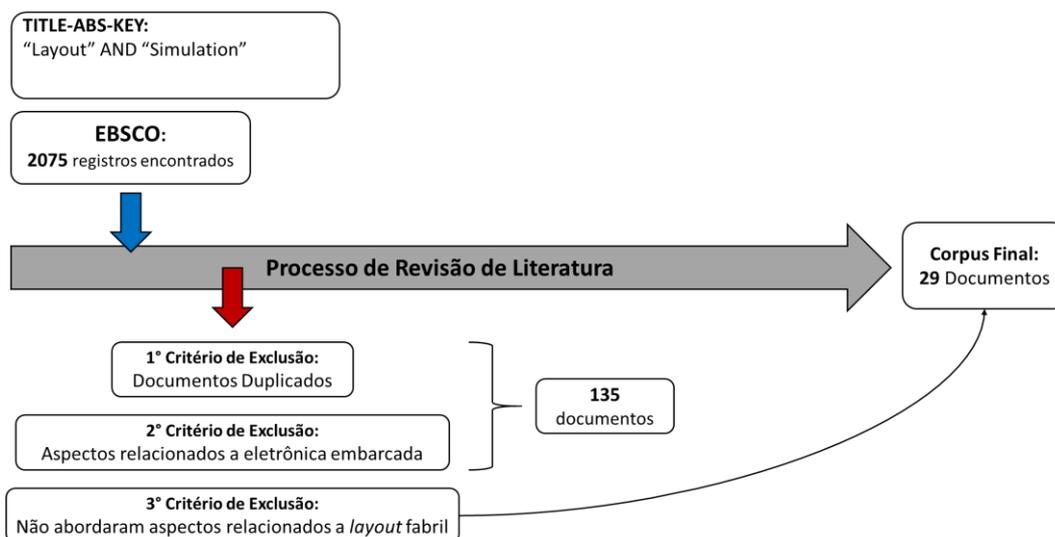
Além disso, um ponto crítico identificado pelo autor foi que, na maioria dos casos, os projetos ou alterações nos *layouts* das linhas de produção, sejam para aumentar a capacidade produtiva ou para desenvolver novos produtos e peças, baseavam-se principalmente na expertise técnica dos projetistas de *layout*. Na maioria dos casos analisados, os *layouts* projetados não passavam por simulação computacional, o que limitava o potencial de otimização e a previsibilidade dos resultados antes da implementação na prática. Isso reforça a necessidade de um maior uso de ferramentas de simulação como parte integrante do processo de planejamento de *layouts*.

### 3.4 REVISÃO DE LITERATURA

A Revisão Sistemática de Literatura (RSL) é uma etapa relacionada ao processo de conscientização. Segundo Dresch, Lacerda e Antunes Júnior (2015), considerar o conhecimento já existente é fundamental para que o pesquisador faça uso de estudos anteriores com foco em problemas iguais ou similares para atingir seu objetivo de pesquisa. Em outras palavras, a RSL auxiliará na compreensão, condução e identificação de artefatos que poderão ser utilizados no presente trabalho, buscando investigar os estudos já realizados sobre o tema.

A figura a seguir, representa os critérios que foram utilizados na pesquisa às bases de dados e estes serão descritos nos parágrafos seguintes. A figura foi elaborada com base no trabalho de Moher et al. (2009) e Benetti (2021).

Figura 33 – Critérios e Resultados da Revisão da Literatura



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

O foco desta pesquisa é a busca e estruturação de artefatos que sejam capazes de promover relação entre o planejamento de *layout* fabril, englobando conceitos importantes da Engenharia de produção e a simulação de eventos discretos, estabelecendo regras para a boa prática no desenvolvimento de modelos de simulação e o pré-processamento das informações. Desta forma, foi realizada uma busca na literatura com base na seguinte questão: “Quais estudos já foram realizados sobre o Planejamento Sistemático de *Layout* e o desenvolvimento de modelos de simulação computacional?”

O objetivo desta RSL é identificar os estudos que foram conduzidos sobre o problema de pesquisa. Para atingir este objetivo os seguintes grupos de palavras-chave relacionado aos temas *Layout* e Simulação foram desenvolvidos, conforme quadro 8:

Quadro 8 – Palavras-chave de busca na literatura

Layout ou Leiaute	Simulação	Operadores
"layout"	"simulation"	AND OR

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Com base nessa temática ou grupo de pesquisa, foi definida as *strings* de pesquisa: (“*layout*”) AND (“*simulation*”). Esse conjunto de palavras foi testado buscando não limitar os documentos, trazendo todos os resultados possíveis relacionados a esta temática. Em relação ao tempo, limitou-se as publicações até dezembro de 2024, tendo em vista o período desta pesquisa.

Para a condução desta etapa, considerou-se a base de dados da *EBSCO*, a seleção por esta base deu-se por possuir editores internacionais, e pelo agrupamento de estudos em áreas do conhecimento importantes para os temas desta pesquisa (DRESCH; LACERDA; JÚNIOR, 2015). A busca abrangeu todas as publicações, não sendo aplicado filtro relacionado ao tipo de publicação ou ano, objetivando obter todos os tipos de documentos referente ao assunto, assim como, os autores seminais de cada temática.

As palavras-chave foram adaptadas ao motor de busca da base de dados e aplicadas nos títulos, resumos e palavras-chaves dos documentos, não limitando ao ano de busca. A busca retornou cerca de 2075 documentos.

A partir disso, foi utilizada uma ferramenta para auxiliar na Revisão Sistemática de Literatura, denominada (“Rayyan”). Todos os documentos foram baixados em formato (.ris) contendo seu título e resumo do trabalho, além de outras informações importantes como autores, ano de publicação etc. Os trabalhos foram catalogados na ferramenta e a partir disso foram classificados pelo autor, seguindo os critérios de exclusão da seguinte forma:

- a) Documentos duplicados;
- b) Abordam aspectos relacionados a eletrônica embarcada;
- c) Não abordaram aspectos relacionados a *layout* fabril.

Os critérios de exclusão foram aplicados em 3 passos: Primeiramente foram lidos os títulos de todos os 2075 estudos encontrados e excluídos aqueles que não estavam alinhados ao objetivo da RSL, conforme critérios de exclusão “a” e “b”. Ficando 259 (245 como “talvez” e 14 inclusos) artigos dos 2075 artigos totais. Conforme pode ser observar a figura abaixo retirada do *Rayyan*.

Figura 34 – Revisão de Literatura Rayyan - 1º Classificação

The screenshot shows the Rayyan software interface. On the left, there are several panels for document management, including 'Possible Duplicates', 'Inclusion decisions', 'Search metadata', and 'Keywords for include/exclude'. The main area displays a list of search results with columns for Date, Title, and Authors. A pop-up window titled 'Inclusion decisions' is overlaid on the right side of the interface, showing the following counts:

Decision	Count
Undecided	0
Maybe	245
Included	14
Excluded	1663

Fonte: Elaborado pelo autor, através da Ferramenta *Rayyan*, 2024.

O segundo passo foi a leitura dos resumos dos estudos selecionados no passo 1 (259 artigos) e exclusão daqueles que não tratavam de *layout* fabril ou industrial, conforme o critério de exclusão “c”. Por fim, o terceiro passo foi a leitura dos resumos e tópicos de cerca de 135 documentos que restaram, após as exclusões do primeiro e segundo passo.

Figura 35 – Revisão de Literatura *Rayyan* - 2º Classificação

The screenshot displays the Rayyan interface for a literature review. On the left, there are filters for 'Inclusion/Exclusion' and 'Inclusion decisions'. The main area shows a list of articles with columns for 'Date', 'Title', 'Authors', and 'Rating'. A pop-up window titled 'Inclusion decisions' is overlaid on the right, showing the following counts:

Inclusion decision	Count
Undecided	0
Maybe	0
Included	135
Excluded	1777

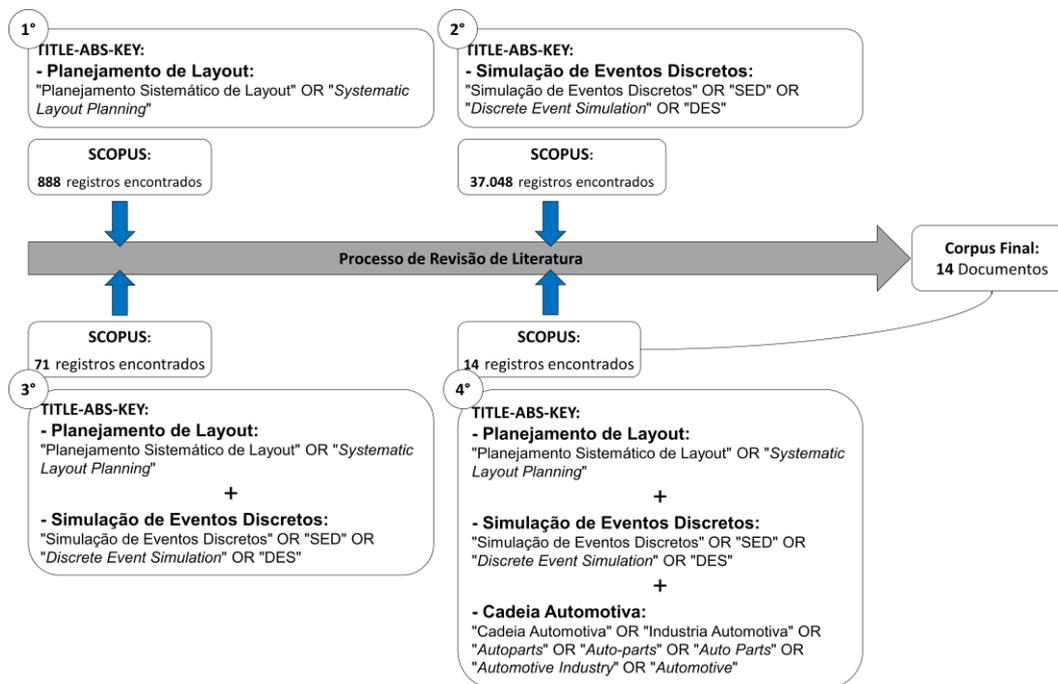
Fonte: Elaborado pelo autor, através da Ferramenta *Rayyan*, 2024.

Destes, ao todo, 29 documentos foram selecionados para contribuir com a pesquisa realizada, no que tange a conscientização do problema e construção da Fundamentação Teórica.

Além da RSL realizada acima, buscando ser mais objetivo na busca por artefatos já implementados em indústrias do setor de autopeças/automotivo, foi realizado uma busca na Base de dados da Scopus, utilizando termos relacionados ao Planejamento Sistemático de *Layout* que resultou em 888 documentos publicados nos últimos 15 anos. Por sua vez, ao utilizar termos associados à Simulação de Eventos Discretos, foram encontrados 37.048 documentos no mesmo período.

No entanto, quando esses temas são combinados em uma busca conjunta, observa-se uma significativa redução no número de publicações. Apenas 71 documentos foram encontrados ao combinar os termos referentes ao Planejamento de *Layout* e à Simulação de Eventos Discretos, número que cai ainda mais, para 14 documentos quando incluídos termos relacionados à indústria automotiva ou de autopeças, conforme ilustrado na figura a seguir.

Figura 36 – Termos de Busca utilizados na Scopus



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Sendo assim, foram somados 29 documentos da RSL referente a base de dados da *EBSCO* e 14 documentos da busca mais específica na base de dados da *SCOPUS*.

### 3.4.1 TÉCNICA PARA EXPANSÃO DE BUSCA

Com o grupo de documentos mais relevantes para a pesquisa selecionada, ainda foram acrescentados mais 38 documentos a partir da técnica Bola de Neve (*snowball*), que consiste em pesquisar e analisar as referências dos arquivos selecionados inicialmente na revisão da literatura, esta, foi realizada utilizando a busca de trabalhos no *Google Scholar*, limitada a publicações de até 15 anos e utilizando os mesmos critérios de exclusão pontuados anteriormente.

Ao final, um *corpus* de análise de 81 documentos foi escolhido e compilado para embasar o Referencial Teórico deste trabalho e auxiliar na identificação dos artefatos que poderão ser aplicados na Empresa em questão, buscando atender os objetivos desta pesquisa.

O detalhamento do resultado da revisão de literatura foi apresentado na seção 2 deste trabalho. Foram encontrados estudos que objetivaram a avaliação de alterações de *layout* em determinados sistemas produtivos (linhas de produção

específicas) com o objetivo de otimizar fluxos, reduzir custos e aumentar a eficiência operacional e estes auxiliarão no desenvolvimento desta pesquisa, levando em consideração os aprendizados aplicados no desenvolvimento do *SLP*, assim como na utilização da Simulação de Eventos Discretos.

A revisão de literatura permitiu a conscientização a respeito do problema de pesquisa, bem como, a compreensão e entendimento referente as temáticas de pesquisa, além da identificação dos artefatos já existentes que servirão de base para o desenvolvimento desta pesquisa.

## 4 RESULTADOS

Seguindo as etapas metodológicas propostas no Método de Trabalho, o presente estudo será desenvolvido nos tópicos a seguir.

### 4.1 IDENTIFICAÇÃO DOS ARTEFATOS

A terceira etapa deste estudo foca na identificação dos artefatos, detalhando as principais ferramentas e metodologias empregadas no SLP e nas boas práticas para estudos de simulação de eventos discretos. Além disso, destaca os passos essenciais para a aplicação dessas abordagens no ambiente produtivo. Esse levantamento é essencial para garantir uma integração eficaz entre o planejamento de layout e a simulação, permitindo uma análise mais precisa dos fluxos produtivos e auxiliando na tomada de decisões estratégicas no setor industrial.

Nesta fase do trabalho, serão descritos os artefatos identificados, abrangendo ferramentas, métodos e boas práticas aplicáveis ao estudo. A seleção desses elementos foi fundamentada em uma Revisão Sistemática da Literatura, incluindo tanto modelos de simulação de eventos discretos quanto metodologias de apoio ao SLP. Essa abordagem integrada possibilita uma análise mais aprofundada e contribui para a melhora dos processos produtivos, posteriormente estas estruturas serão aplicadas em uma empresa do setor metalmeccânico/autopeças.

#### 4.1.1 LAYOUT E PLANEJAMENTO SISTEMÁTICO DE LAYOUT

A escolha do *layout* de uma instalação produtiva é fundamental para a eficiência e a eficácia de seus processos. Os principais tipos de *layout* incluem o *layout* por produto, ideal para sistemas de produção em massa, onde a linha de produção é organizada conforme a sequência de operações; o *layout* por processo, comum em produções customizadas, onde máquinas e equipamentos similares são agrupados; o *layout* celular, que combina aspectos dos dois anteriores e é voltado para a produção enxuta; e o *layout* fixo, onde o produto permanece fixo e os recursos se movem ao seu redor, adequado para grandes projetos como construção naval ou aeronáutica.

No que diz respeito ao sistema de produção, é essencial considerar o Mecanismo da Função Processo e o Mecanismo da Função Operação. O primeiro se refere à sequência de etapas que um produto passa, desde a matéria-prima até a entrega final, enquanto o segundo se concentra nas operações específicas realizadas em cada etapa do processo. Esses mecanismos são fundamentais para a compreensão de como os fluxos de trabalho são organizados e otimizados, influenciando diretamente a escolha do *layout* mais apropriado.

A TOC também desempenha um papel importante no planejamento de *layouts* e sistemas produtivos, focando na identificação e gestão de gargalos que limitam o desempenho do sistema. Ao alinhar o *layout* e os recursos para minimizar essas restrições, a TOC busca maximizar o fluxo produtivo, atuando diretamente no gargalo, contribuindo para a eficiência e a capacidade da produção.

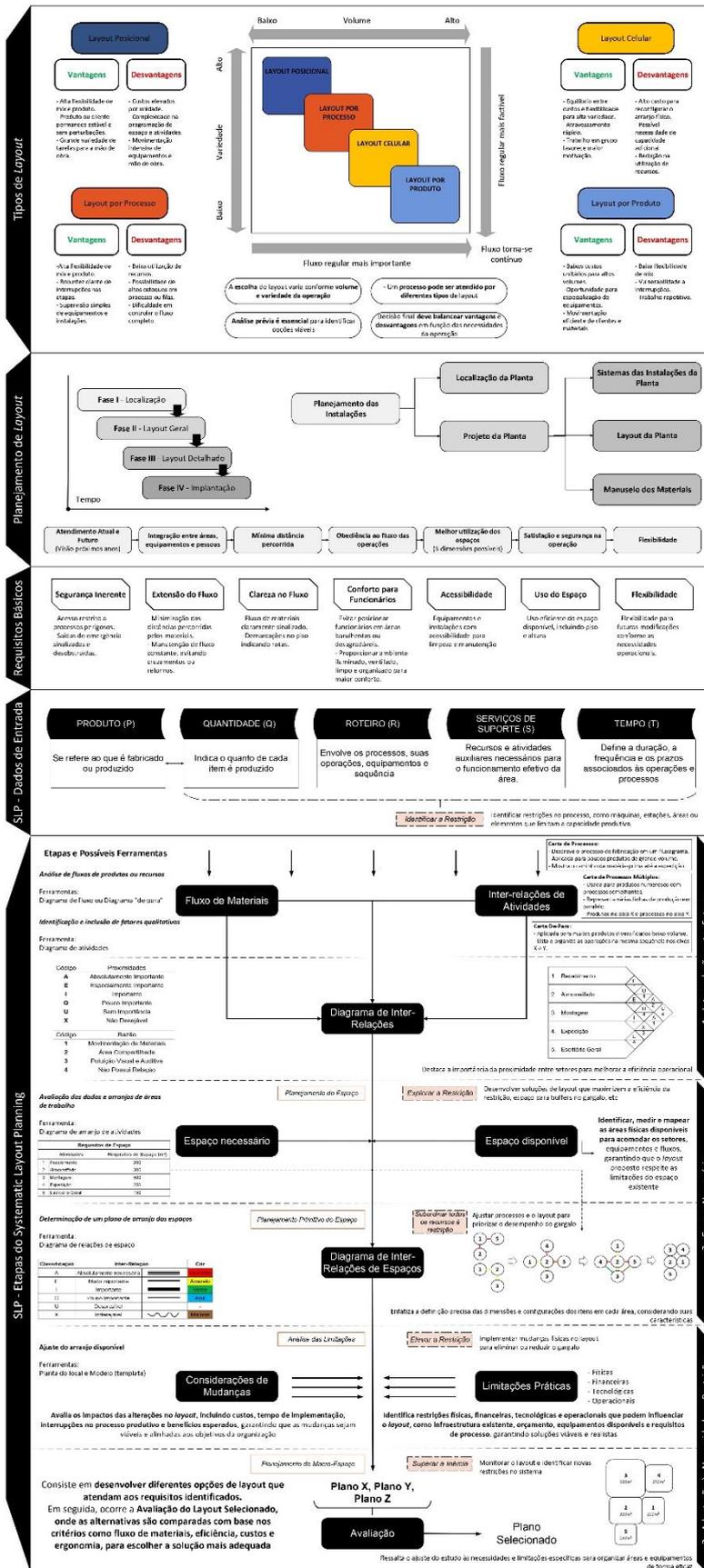
Referente à temática de *Layout* e *SLP*, embora seja uma metodologia desenvolvida há muitos anos, ela continua relevante e amplamente aplicada em diferentes indústrias. Ao longo dos anos, inúmeros estudos têm revisado e aprimorado o *SLP*, além de adaptá-lo às necessidades específicas de diversos segmentos industriais. Sua aplicação varia desde indústrias de manufatura e automotiva até setores mais especializados, como o metalmecânico e o alimentício, sempre com o objetivo de otimizar o uso do espaço, reduzir custos e melhorar a eficiência dos fluxos produtivos.

Nesta etapa do trabalho, serão apresentados os principais estudos identificados na RSL, destacando como suas abordagens e *insights* podem ser aplicados diretamente à empresa em questão. Essa análise permitirá a adaptação e personalização das melhores práticas do *SLP* ao contexto específico da empresa, proporcionando soluções mais eficazes e alinhadas às suas necessidades produtivas.

A transição entre a definição dos tipos de *layout* e a metodologia do *SLP* permite observar como a escolha adequada do tipo de *layout*, associada às metodologias corretas, como o *SLP*, é capaz de otimizar o fluxo produtivo de maneira eficaz. Combinando as estratégias de *layout* com abordagens como a TOC, a análise e a aplicação da metodologia de planejamento tornam-se ainda mais robustas, permitindo que gargalos sejam eliminados e que a produtividade da empresa seja maximizada.

Com base nos estudos identificados na RSL foi elaborada a seguinte imagem, que busca englobar tais conceitos. Esta, está dividida em cinco *macro constructos* que irão auxiliar na aplicação do Planejamento de *Layout* na Empresa em questão.

Figura 37 – Estrutura Planejamento de Layout



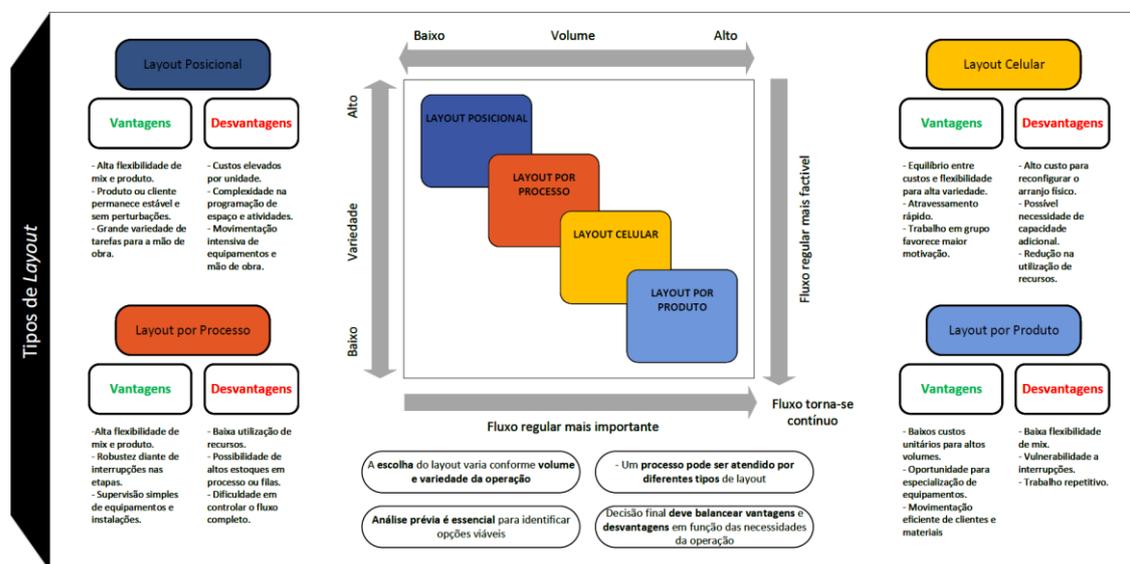
Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Mapear os processos de uma organização é o primeiro passo, e um dos mais importantes, para que se compreenda como cada etapa de um processo funciona na prática. Esse mapeamento permite conhecer e desenvolver os trajetos percorridos desde o início do trabalho até a obtenção dos resultados. Além disso, oportuniza a identificação e eliminação de gargalos, a proposição de melhorias nas tarefas e o aperfeiçoamento do tempo dos processos.

A **primeira etapa da estrutura** se refere aos principais tipos de *layout* presentes nas indústrias de transformação. Nesse contexto, a escolha adequada do *layout* produtivo torna-se fundamental para garantir a eficiência operacional e o melhor aproveitamento dos recursos disponíveis.

A organização do *layout* produtivo é um fator determinante na eficiência dos processos industriais e deve ser selecionada com base em variáveis como volume de produção, variedade de produtos e a importância do fluxo regular. A imagem abaixo apresenta os quatro principais tipos de *layout* e sua relação com essas variáveis, destacando suas vantagens e desvantagens.

Figura 38 – Estrutura Planejamento de *Layout*



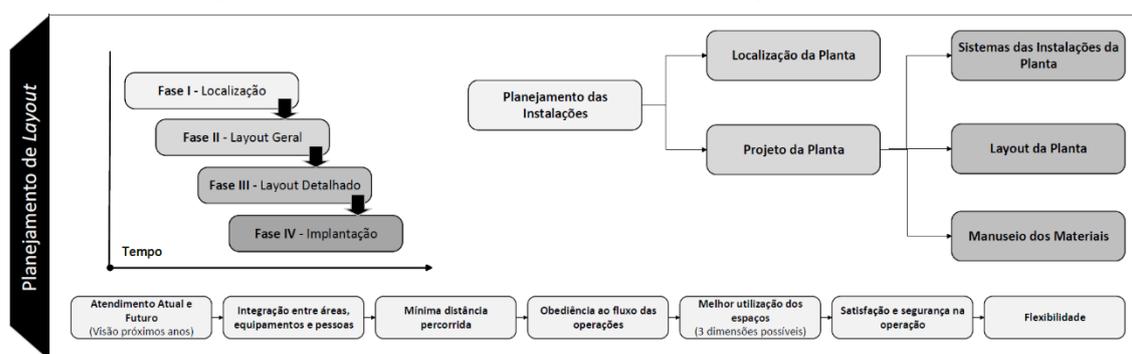
Fonte: Elaborado pelo autor com base em Neumann e Scalice (2015), Martins e Laugeni (2015), Slack, Chambers e Johnston (2009), 2024.

A imagem evidencia que, conforme o volume de produção aumenta e a variedade de produtos diminui, o fluxo produtivo se torna mais regular e linear, favorecendo os *layouts* mais estruturados, como o *layout* por produto. Por outro lado, em situações com alta variedade e baixo volume, é necessário adotar *layouts* mais flexíveis, como o *layout* posicional ou por processo.

A decisão final deve ser baseada em um balanceamento entre vantagens e desvantagens de cada tipo de *layout*, com análise das necessidades específicas do sistema produtivo, a fim de garantir a eficiência operacional e a otimização dos recursos.

A **segunda etapa da estrutura** se refere as principais fases do Planejamento de *Layout*, juntamente dos requisitos que devem ser levados em consideração pensando no longo prazo das instalações. O planejamento de *layout* é um processo estratégico que busca organizar o espaço físico de uma planta industrial, de modo a otimizar o uso dos recursos disponíveis e atender às necessidades de produção no presente e no futuro. A imagem abaixo, estrutura o Planejamento de *Layout* em fases e destaca os principais elementos e objetivos a serem considerados no processo.

Figura 39 – Estrutura Planejamento das Instalações e Requisitos



Fonte: Elaborado pelo autor com base em Tompkins et al. (2013), Muther (1978), 2024.

O planejamento de *layout* é dividido em quatro fases principais, demonstrando sua evolução ao longo do tempo, onde:

### Fase I - Localização:

- Nesta etapa inicial, é definida a localização ideal para a planta industrial.
- A escolha da localização deve considerar fatores externos como proximidade com fornecedores, clientes, infraestrutura logística, custos e disponibilidade de mão de obra.

### Fase II - Layout Geral:

- O *layout* geral apresenta uma visão macro da distribuição das áreas na planta, com foco em posicionar grandes setores ou funções (produção, estoque, expedição etc.).
- É o ponto de partida para garantir a integração e a fluidez geral das operações.

**Fase III - Layout Detalhado:**

- Nessa fase, o layout é detalhado, com a disposição específica de máquinas, equipamentos, linhas de produção e áreas auxiliares.
- O objetivo é minimizar distâncias percorridas, evitar cruzamentos de fluxo e garantir o uso eficiente do espaço.

**Fase IV - Implantação:**

- A fase final envolve a execução do *layout* planejado, garantindo a implementação física do projeto e validando as soluções propostas.
- A progressão entre as fases é representada ao longo de um eixo de tempo, enfatizando a natureza sequencial e interdependente dessas etapas.

Dentro do processo de planejamento, a estrutura destaca em uma segunda parte a importância do Planejamento das Instalações, subdividido em:

- **Localização da Planta:** Definição do local mais adequado para a instalação da fábrica.
- **Projeto da Planta:** Elaboração do projeto físico da instalação, dividido em:
  - Sistemas das Instalações da Planta: Definição dos sistemas essenciais (energia, água, ventilação etc.).
  - *Layout* da Planta: Organização física dos recursos dentro do espaço disponível.
  - Manuseio dos Materiais: Planejamento do fluxo de materiais, considerando transporte, armazenagem e movimentação interna.

Essa hierarquia evidencia a necessidade de planejamento sistêmico e integrado, considerando todos os elementos que impactam a eficiência e a funcionalidade da planta.

Na base da imagem, são destacados os principais objetivos do planejamento de *layout*, que refletem as boas práticas e os critérios de sucesso do processo:

- Atendimento Atual e Futuro: Garantia de que o *layout* atenda às demandas atuais, com visão de crescimento e mudanças futuras.
- Integração entre áreas, equipamentos e pessoas: Busca de sinergia entre os componentes da planta.
- Mínima distância percorrida: Redução dos deslocamentos de materiais e pessoas, minimizando desperdícios.

- Obediência ao fluxo das operações: Planejamento que respeita a sequência lógica dos processos produtivos.
- Melhor utilização dos espaços: Uso eficiente das três dimensões (vertical, horizontal e volumétrica).
- Satisfação e segurança na operação: Priorização das condições de trabalho seguras e ergonômicas.
- Flexibilidade: Capacidade de adaptação do *layout* a mudanças nos processos produtivos.

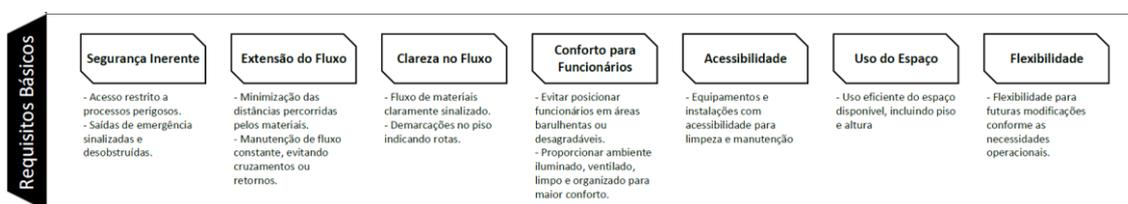
Esses objetivos destacam o alinhamento do planejamento de *layout* com os princípios da produção enxuta e da eficiência operacional. No contexto da indústria automotiva ou do setor metalmeccânico, onde os processos são complexos e os fluxos produtivos envolvem grandes volumes de materiais e equipamentos, o uso desse planejamento é essencial e organiza o planejamento de *layout* de maneira sistêmica.

A **terceira etapa da estrutura**, ilustrada na figura 40, se refere aos requisitos básicos que devem ser levados em consideração antes de se iniciar o projeto de *layout* e que vão de encontro aos objetivos do projeto pontuados anteriormente.

- **Segurança Inerente:**
  - Acesso restrito a processos perigosos: Garantir que áreas críticas ou perigosas sejam acessadas apenas por pessoal autorizado, reduzindo riscos de acidentes e garantindo a segurança no ambiente produtivo.
  - Saídas de emergência sinalizadas e desobstruídas: Prioriza a evacuação rápida e segura em situações críticas, cumprindo regulamentações de segurança.
- **Extensão do Fluxo:**
  - Minimização das distâncias percorridas pelos materiais: Visa reduzir o tempo e o custo com transporte interno, otimizando a eficiência logística.
  - Manutenção de fluxo constante, evitando cruzamentos ou retornos: Um fluxo bem planejado evita gargalos e movimentos desnecessários, contribuindo para o lead time mais curto.

- **Clareza no Fluxo:**
  - Fluxo de materiais claramente sinalizado: A identificação visual garante que operadores e sistemas automatizados sigam rotas padronizadas, evitando erros.
  - Demarcações no piso indicando rotas: Facilita a orientação e organização, especialmente em grandes áreas de produção.
- **Conforto para Funcionários:**
  - Evitar áreas barulhentas ou desagradáveis: Contribui para a ergonomia e satisfação dos trabalhadores.
  - Proporcionar ambiente iluminado, ventilado, limpo e organizado: Garante bem-estar, reduzindo cansaço e aumentando a produtividade.
- **Acessibilidade:**
  - Equipamentos e instalações com acessibilidade para limpeza e manutenção: A disposição dos equipamentos deve facilitar intervenções rápidas e frequentes.
- **Uso do Espaço:**
  - Uso eficiente do espaço disponível, incluindo piso e altura: O aproveitamento tridimensional do *layout* maximiza a capacidade produtiva.
- **Flexibilidade:**
  - Flexibilidade para futuras modificações conforme as necessidades operacionais: Um *layout* flexível acomoda expansões ou mudanças na demanda.

Figura 40 – Estrutura Requisitos Básicos para Início do Projeto



Fonte: Elaborado pelo autor com base em Vieira (1979) e Slack, Chambers e Johnston (2009), 2024.

Os Requisitos Básicos apresentados são fundamentais para a etapa inicial do Projeto de *Layout*, pois estabelecem um padrão prévio para garantir segurança, eficiência e adaptabilidade. Esses princípios podem ser amplamente referenciados

em metodologias como *SLP* e abordagens *Lean*, assegurando uma base sólida para a análise e implementação dos *layouts* industriais.

A **quarta etapa da estrutura**, ilustrada na figura 41, se refere aos dados de entrada para o *SLP*. O Planejamento Sistemático de *Layout*, proposto por Richard Muther, é uma abordagem estruturada para organizar espaços físicos, especialmente em contextos industriais. Os dados de entrada do *SLP*, representados pela sigla P-Q-R-S-T, consistem em cinco categorias fundamentais: Produto, Quantidade, Roteiro, Serviços de Suporte e Tempo (MUTHER, 1978).

- **Produto (P):**

O primeiro dado de entrada, Produto, refere-se ao que é fabricado ou produzido no sistema produtivo. Conhecer o produto e suas características é fundamental, pois ele define os requisitos necessários para o planejamento, como materiais envolvidos, dimensões, variações e necessidades específicas de manuseio. A análise detalhada do produto permite identificar as demandas físicas e funcionais que influenciam o *layout*, como tipos de armazenamento, fluxos logísticos e processos produtivos específicos.

- **Quantidade (Q):**

A quantidade produzida de cada item determina os volumes de produção e dimensiona os recursos necessários, como espaço, equipamentos e mão de obra. Esse dado de entrada é essencial para estabelecer a capacidade produtiva do sistema e evitar sub ou superdimensionamento das operações. Além disso, a quantidade auxilia na organização do fluxo produtivo, garantindo o balanceamento dos processos e a eficiência operacional.

- **Roteiro (R):**

O roteiro corresponde ao mapeamento dos processos produtivos, incluindo suas operações, sequência e equipamentos envolvidos. Esse elemento define como o produto será fabricado, permitindo o planejamento detalhado das etapas produtivas. A análise do roteiro facilita a criação de um fluxo eficiente, eliminando deslocamentos desnecessários e gargalos, além de otimizar a utilização de recursos e a integração entre os setores da produção.

- **Serviços de Suporte (S):**

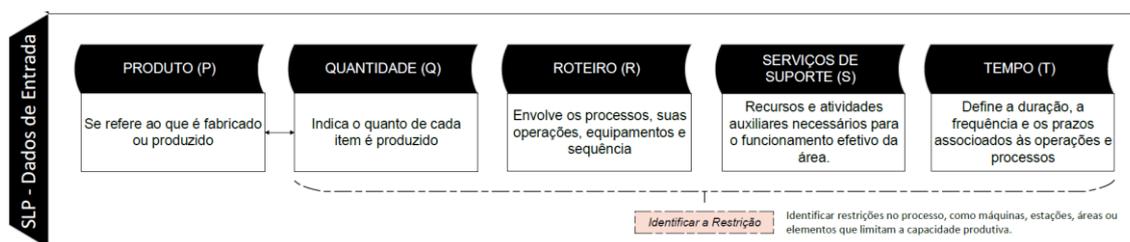
Os serviços de suporte englobam os recursos e atividades auxiliares necessários para o funcionamento eficiente da área produtiva. Entre os principais

serviços estão: manutenção de máquinas e equipamentos, logística interna, controle de qualidade, armazenamento e serviços administrativos. Incorporar esses elementos ao planejamento do *layout* é essencial para evitar paradas não planejadas, garantir a continuidade das operações e promover a eficiência do sistema produtivo.

- **Tempo (T):**

O tempo é um dado crítico no *SLP*, pois define a duração, a frequência e os prazos das operações e processos produtivos. A análise temporal é diretamente associada à eficiência do *layout*, permitindo o balanceamento dos tempos de ciclo, a identificação de gargalos temporais e o sequenciamento adequado das operações. O correto planejamento do tempo contribui para maximizar a produtividade e otimizar a utilização dos recursos disponíveis.

Figura 41 – Estrutura Informações necessárias para o *SLP*



Fonte: Elaborado pelo autor com base em Muther (1978), Slack, Johnston, Chambers (2009), 2024.

Além dos dados de entrada, se torna relevante e possível identificar possíveis restrições existentes no processo produtivo. Essas restrições podem incluir limitações em máquinas, equipamentos, espaço físico, capacidades de estações de trabalho ou elementos que impactam a capacidade produtiva. A antecipação e análise das restrições permitem a elaboração de soluções proativas durante a etapa de planejamento, garantindo maior aderência entre os recursos disponíveis e as necessidades operacionais, considerando espaço para a inclusão de *buffers*, entre outros, durante o processo de desenvolvimento do *layout*.

A **quinta etapa da estrutura** se refere aos procedimentos da Metodologia do *SLP*, sendo identificados na imagem 42, conforme as fases abaixo:

### 1. Análise do Fluxo de Materiais e Inter-relações entre Atividades

A etapa inicial busca identificar as relações críticas entre processos, setores e materiais, utilizando ferramentas específicas:

- Análise de Fluxos de Produtos ou Recursos:

- Representação visual do percurso dos materiais e informações (Diagrama de Fluxo).
- Construção do Diagrama "de-para", que mapeia as conexões entre processos e recursos.
- Diagrama de Inter-relações:
  - Prioriza as proximidades entre atividades e setores de acordo com códigos de inter-relação (A - Absolutamente Necessário, E - Especialmente Importante etc.).
  - Utiliza Cartas de Processo (único, múltiplo ou misto) para representar diferentes níveis de interdependência e volumes de produção.

## **2. Espaço Necessário e Espaço Disponível**

Após a análise das inter-relações, a etapa seguinte avalia as demandas de espaço versus os recursos físicos existentes.

- Espaço Necessário:
  - Determinação do tamanho ideal para cada atividade e setor, com base em requisitos específicos (m<sup>2</sup>, volumes de produção e recursos).
  - Uso do Diagrama de Arranjo de Atividades para organizar essa demanda.
- Espaço Disponível:
  - Mapeamento físico das áreas atuais e possíveis expansões.
  - Identificação de restrições físicas e limitações estruturais.

## **3. Adaptação às Necessidades e Restrições**

Nesta fase, a prioridade é criar uma primeira configuração do *layout*, explorando a restrição identificada na etapa anterior, ajustando o *layout* proposto conforme as limitações práticas e as necessidades identificadas.

- Planejamento Primitivo do Espaço:

Aqui, a primeira configuração do *layout* é proposta, explorando a restrição identificada na etapa anterior. São feitos simulações e ajustes, buscando:

- Maximizar a eficiência do gargalo.
- Otimizar buffers e conexões entre processos críticos.
- Diagrama de Inter-relações de Espaços:
  - Ajusta as proximidades físicas entre setores com base nas inter-relações definidas.

- Define dimensões e alocações precisas, considerando as características dos itens em cada área.
- Limitações Práticas:
  - Físicas: restrições de infraestrutura e espaço.
  - Financeiras: limites orçamentários e custos de implementação.
  - Operacionais: restrições de tempo e impacto na produção.

- Análise das Limitações:

As soluções são adaptadas para elevar a eficiência da restrição crítica, aplicando mudanças no *layout* ou ajustes em processos correlatos.

- Considerações de Mudanças:

Avalia os impactos das alterações no *layout*, incluindo:

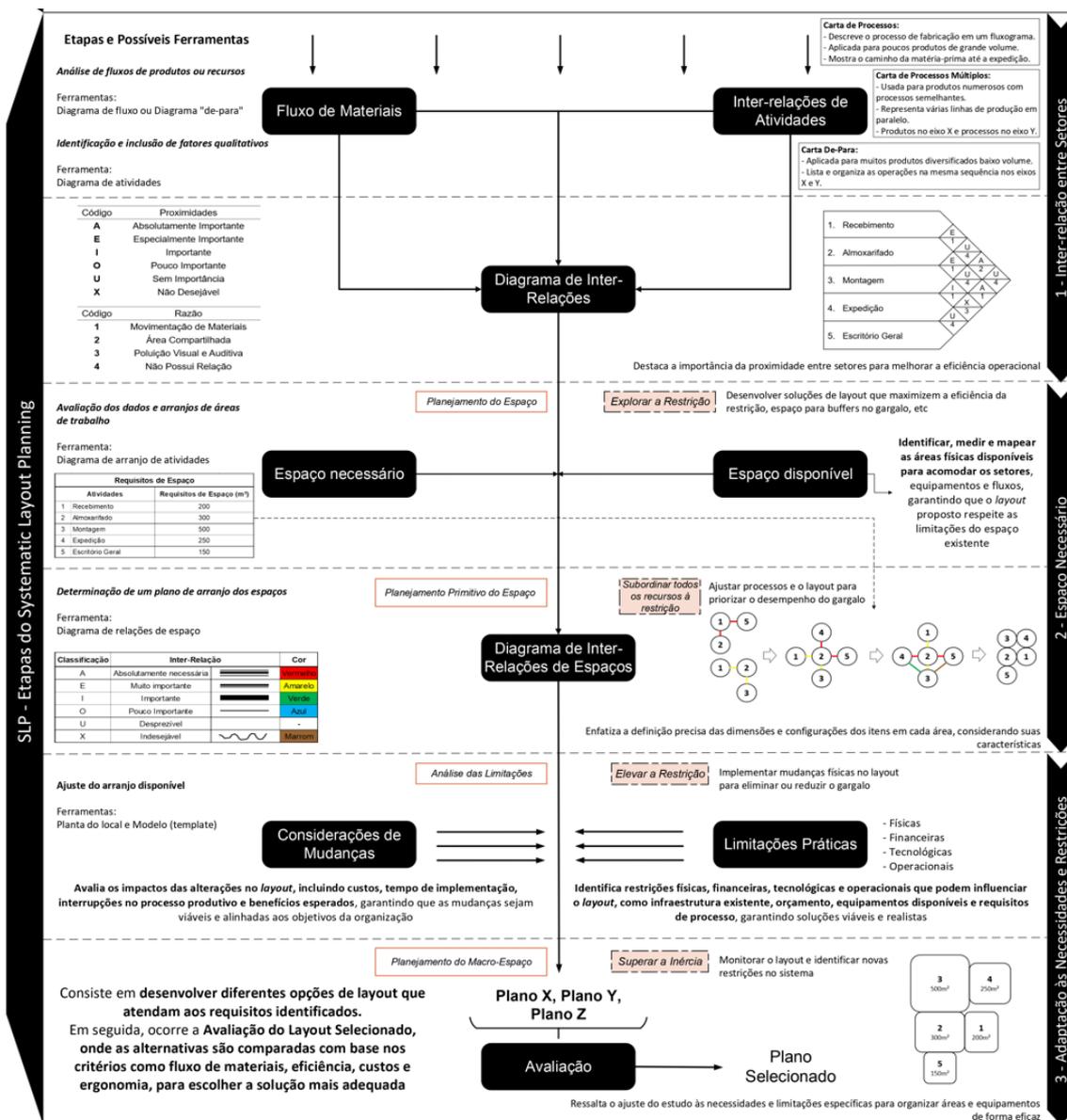
- Custos e tempo de implementação.
- Impactos na produtividade e eficiência operacional.

#### **4. Planejamento do Macro Esquema e Avaliação**

Nesta etapa, diferentes alternativas de *layout* são propostas e avaliadas com base nos critérios definidos.

- Macro Esquema:
  - Desenvolvimento de opções de *layout* (Planos X, Y e Z) que atendam às necessidades identificadas, respeitando as restrições.
  - Comparação dos planos com base em:
    - Fluxo de materiais.
    - Eficiência operacional.
    - Ergonomia e custos.

Figura 42 – Estrutura Etapas do Planejamento Sistemático de *Layout* (SLP)



Fonte: Elaborado pelo autor com base em Muther (1978) e Oliverio (1985), Slack, Chambers e Johnson (2009), Neumann e Scalice (2015), Rocha (2011), 2024.

O SLP, relacionando com os princípios da TOC, constitui um processo estruturado que visa otimizar o arranjo físico industrial. As ferramentas apresentadas possibilitam a identificação, análise e adaptação das restrições, propondo soluções de *layout* alinhadas às demandas operacionais e às limitações práticas.

#### 4.1.2 ETAPAS DO ESTUDO DE SIMULAÇÃO

Serão apresentadas, a seguir, as principais etapas do estudo de simulação, identificadas a partir da RSL, que reúne referências relevantes na aplicação dessa

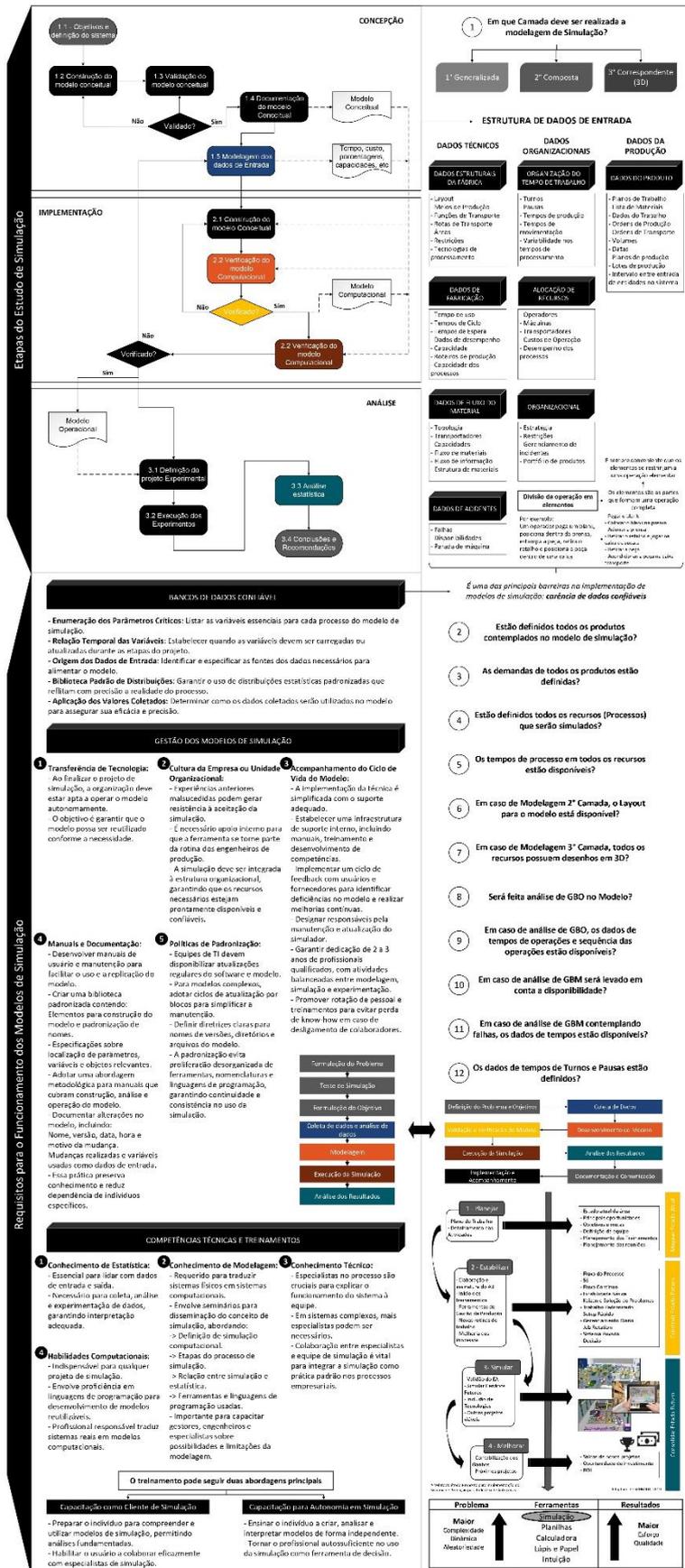
metodologia em indústrias complexas, como a automotiva. As abordagens extraídas desses trabalhos são diretamente aplicáveis ao contexto da empresa em questão, oferecendo uma base sólida para a implementação da simulação de eventos discretos como ferramenta de apoio à tomada de decisões estratégicas.

Com base nos trabalhos identificados, pode se constatar que as etapas do estudo de simulação seguem uma estrutura metodológica clara e objetiva. Inicialmente, a construção do modelo de simulação envolve a coleta e análise detalhada de dados reais do processo produtivo, garantindo a fidelidade do modelo aos fluxos existentes. Nesta etapa, é importante que a equipe responsável pela construção do modelo de simulação conheça todas as informações de entrada necessárias. Em seguida, são realizados experimentos com o modelo, onde diferentes cenários são testados com o intuito de identificar gargalos, otimizar a utilização de recursos e avaliar possíveis melhorias no *layout* produtivo.

Logo após a análise dos resultados, que pode ser baseada em indicadores de desempenho ou no objetivo da simulação previamente definidos, permite a avaliação dos impactos das alterações propostas, proporcionando uma visão crítica para tomada de decisões. Por fim, a validação do modelo simulado com os resultados reais é fundamental para assegurar sua aplicabilidade e eficácia dentro do contexto produtivo da empresa estudada.

A estrutura proposta para o estudo de simulação, ilustrada na figura 43, abrange, além das etapas tradicionais, e pontuadas anteriormente, incluem diretrizes sobre boas práticas para o gerenciamento de modelos de simulação e a concepção de um artefato específico voltado para um Sistema de Produção Próprio para a Indústria de Autopeças. Esse artefato visa integrar metodologias consolidadas no campo da Engenharia de Produção, promovendo uma abordagem estruturada e alinhada às demandas do setor.

Figura 43 – Estrutura Etapas do Estudo de Simulação, Dados e Boas Práticas



A **primeira etapa da estrutura** detalha o fluxo das etapas de um Estudo de Simulação, bastante consolidada na literatura, organizada em três fases principais: Concepção, Implementação e Análise. Essa estrutura apresentada na figura 44 é fundamental para a aplicação de simulação, especialmente em contextos de planejamento e análise de *layouts* produtivos, proporcionando uma abordagem sistemática para avaliar o desempenho de diferentes configurações e apoiar decisões estratégicas.

### **Fase 1: Concepção**

#### **1.1 Objetivos e definição do sistema:**

Nesta etapa inicial, são definidos os objetivos do estudo e o escopo do sistema, que no caso do *layout* envolve a definição das áreas produtivas, fluxos de materiais, movimentação de pessoas e a lógica das operações. Essa etapa busca responder perguntas como: "Qual o objetivo do novo *layout*? Reduzir tempos de transporte? Melhorar o fluxo de produção?", etc.

#### **1.2 Construção do modelo conceitual:**

O modelo conceitual é uma representação simplificada do *layout* atual ou proposto. Para *layouts*, isso pode incluir a disposição inicial das máquinas, áreas de estocagem e caminhos de transporte, mapeando os fluxos produtivos de maneira qualitativa.

#### **1.3 Validação do modelo conceitual:**

O modelo é validado para verificar se a disposição espacial e os fluxos mapeados no modelo conceitual representam adequadamente o sistema real. Por exemplo, o modelo deve considerar corretamente as restrições de espaço, capacidade das máquinas e interações entre áreas produtivas.

#### **1.4 Documentação do modelo conceitual:**

Após validado, o modelo é documentado com informações específicas sobre o *layout*, como dimensões físicas, capacidades produtivas, tempos de transporte, custos associados às mudanças e percentuais de ocupação das áreas. Isso garante que todas as partes interessadas compreendam os pressupostos do estudo.

#### **1.5 Modelagem dos dados de entrada:**

Os dados relacionados ao *layout*, como taxas de produção, tempos, trajetórias de movimentação e volumes de transporte, são coletados e preparados para

alimentar o modelo. Esses dados são cruciais para simular o desempenho de diferentes configurações espaciais e serão detalhados na sequência da estrutura.

## **Fase 2: Implementação**

### **2.1 Construção do modelo computacional:**

Com base no modelo conceitual, o *layout* é modelado em uma ferramenta de simulação computacional. Nesse ponto, o *software* simula a dinâmica do sistema produtivo, permitindo avaliar fluxos de materiais, gargalos e tempos de ciclo associados a diferentes configurações.

### **2.2 Verificação do modelo computacional:**

Verifica-se se o modelo computacional está implementado corretamente e se reflete os aspectos reais do *layout*. Isso pode envolver, por exemplo, a verificação de trajetórias de movimentação, alocação de recursos e conformidade com restrições espaciais.

- **Iteração entre conceitual e computacional:**

Caso sejam identificados problemas na representação do *layout* no modelo computacional, há um ciclo de revisões até que o modelo seja fiel ao sistema real.

- **Criação do modelo operacional:**

Após a verificação, o modelo computacional se torna operacional, pronto para ser usado na análise de cenários e otimizações do *layout*.

## **Fase 3: Análise**

### **3.1 Definição do projeto experimental:**

São definidos os cenários a serem testados no *layout*, como redistribuição de máquinas, otimização de fluxos e alterações na disposição física. Por exemplo, um experimento pode avaliar o impacto de aproximar áreas com maior interação para reduzir o tempo de movimentação, englobar melhorias na eficiência e disponibilidade em postos de trabalhos através de aplicação de metodologias e ferramentas pontuadas na etapa referente ao Sistema de Produção para Indústria de autopeças (quarta etapa da estrutura), entre outros.

### **3.2 Execução dos experimentos:**

Os cenários de *layout* são simulados no modelo operacional, gerando dados como tempos de ciclo, taxas de utilização de recursos, distâncias percorridas e custos operacionais.

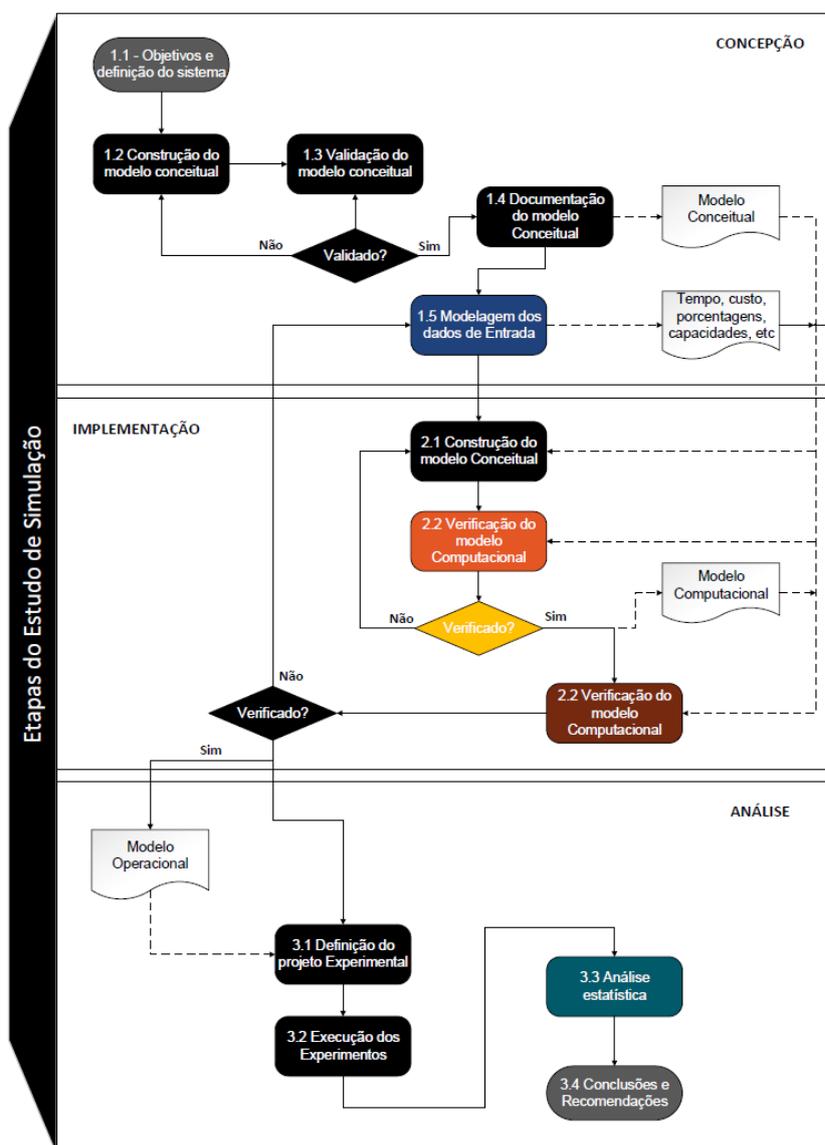
### 3.3 Análise estatística:

Os resultados dos experimentos são analisados estatisticamente para comparar diferentes configurações de *layout* e identificar a que melhor atende aos objetivos definidos.

### 3.4 Conclusões e recomendações:

A partir da análise, são elaboradas recomendações para a disposição do *layout* no sistema real, como a reorganização de máquinas, alterações em trajetórias ou redefinição de zonas de armazenamento. Essas conclusões ajudam na tomada de decisão, considerando não apenas a eficiência do *layout*, mas também os custos e a viabilidade de implementação.

Figura 44 – Estrutura Metodologia Estudo de Simulação



Fonte: Elaborado pelo autor com base em Mauricio et al. (2013), Ruiz (2019) e Montevechi et al. (2010), 2024.

A **segunda etapa da estrutura**, baseada na revisão da literatura e na experiência do autor, identifica as principais informações que devem ser levantadas para servir como dados de entrada na construção do modelo de simulação e é apresentada na figura 45.

A primeira etapa consiste em definir o nível de detalhamento da modelagem com o requisitante da simulação, que pode ser escolhida entre três camadas:

**1ª Generalizada:** Representa um nível básico, com menor detalhamento e simplificação.

**2ª Composta:** Um nível intermediário, que agrega mais detalhes do sistema.

**3ª Correspondente (3D – Três Dimensões):** Nível mais detalhado, incluindo modelagem tridimensional, animações etc. O nível da camada define o grau de detalhamento necessário nos dados de entrada.

Após a definição da camada, passa-se à estruturação dos dados de entrada, que podem ser divididos em três categorias principais: Dados Técnicos, Dados Organizacionais e Dados da Produção.

### **1. Dados Técnicos**

Esses dados abrangem aspectos estruturais, operacionais e de fluxo na fábrica.

- Dados Estruturais da Fábrica:
  - *Layout*;
  - Meios de produção;
  - Funções de transporte;
  - Rotas de transporte;
  - Áreas e tecnologias de processos.
- Dados de Fabricação:
  - Tempo de uso e tempos de ciclo;
  - Tempos de espera;
  - Dados de desempenho;
  - Capacidade dos processos e roteiros de produção.
- Dados de Fluxo de Material:
  - Topologia;
  - Transportadores e capacidade;
  - Fluxo de materiais e de informações.

- Dados de Acidentes:
  - Falhas e disponibilidade;
  - Paradas de máquinas.

## **2. Dados Organizacionais**

Esses dados focam na organização do trabalho e na alocação de recursos.

- Organização do Tempo de Trabalho:
  - Turnos e pausas;
  - Tempos de produção e tempos de manutenção;
  - Variabilidade nos tempos de processamento.
- Alocação de Recursos:
  - Operadores, máquinas e transportadores;
  - Custos de operação;
  - Descrição dos processos.
- Organizacional:
  - Estratégia e restrições;
  - Capacidade de resposta a incidentes;
  - Portfólio de produtos.

## **3. Dados da Produção**

São informações relacionadas ao produto e aos planos de produção.

- Dados do Produto:
  - Planos de trabalho e listas de materiais;
  - Ordens de trabalho, transporte e produção;
  - Lotes de produção e tempos de entrada de entidades no sistema.

Figura 45 – Estrutura Dados de Entrada para Simulação



Fonte: Elaborado pelo autor com base em Bassanesi (2011) e Bangsow (2010), 2024.

Para facilitar o processo de modelagem, as operações podem ser divididas em elementos. Por exemplo: Um operador pega um *blank*, posiciona-o na prensa, realiza a operação de estampa, retira o *blank* e coloca-o em uma caixa de transporte. Além disso, recomenda-se que os elementos sejam limitados a uma operação elementar, promovendo maior clareza e precisão no modelo.

A **terceira etapa da estrutura** consiste em uma sequência de perguntas organizadas com o objetivo de esclarecer as principais dúvidas do profissional responsável pela construção do modelo computacional. Essa etapa, ilustrada na

figura 46, atua como uma espécie de *checklist*, fornecendo suporte sistemático para facilitar e orientar o processo de modelagem subsequente. Além disso, a sequência de questionamentos tem como foco a superação de uma das principais barreiras na implementação desses modelos: a carência de dados confiáveis. Considera-se como o **Passo 1** a definição se a simulação será Generalizada, Composta ou Correspondente (3D), apresentada anteriormente.

**Passo 2** - Produtos contemplados no modelo

Pergunta se todos os produtos que serão considerados no modelo de simulação estão claramente definidos. Este é um ponto inicial crucial para garantir que o escopo da simulação seja bem delimitado e alinhado com os objetivos do estudo.

**Passo 3** - Demandas dos produtos

Verifica se as demandas de todos os produtos foram estabelecidas, permitindo que o modelo simule cenários realistas em termos de entrada e saída de materiais e produtos.

**Passo 4** - Recursos a serem simulados

Avalia se todos os recursos, especialmente os processos envolvidos na simulação, estão claramente definidos. Essa definição é essencial para garantir que os elementos-chave do sistema sejam representados de forma adequada no modelo.

**Passo 5** - Tempos de processo

Confirma se os tempos de processo em cada recurso estão disponíveis. Essa informação é vital para calcular o desempenho do sistema e validar a precisão do modelo.

**Passo 6** - Modelagem de 2ª Camada (*Layout*)

Questiona se, no caso de simulações em uma modelagem mais avançada (2ª camada), o *layout* do sistema está disponível. O *layout* é necessário para representar a distribuição espacial dos recursos no ambiente de produção.

**Passo 7** - Modelagem de 3ª Camada (Recursos em 3D)

Pergunta se, para simulações ainda mais detalhadas (3ª camada), os desenhos em 3D de todos os recursos foram desenvolvidos. Isso é importante para análises que exigem maior realismo visual e espacial.

**Passo 8** - Análise de GBO (Gestão Baseada em Operações)

Indaga se será realizada uma análise com foco na Gestão Baseada em Operações (GBO), a qual foca em aspectos operacionais detalhados para aprimorar o funcionamento do sistema.

**Passo 9 - Dados para GBO**

Caso a análise de GBO esteja prevista, verifica se os dados de tempos das operações e a sequência das operações estão disponíveis, já que esses dados fundamentam as análises operacionais.

**Passo 10 - Análise de GBM (Gestão Baseada em Manutenção)**

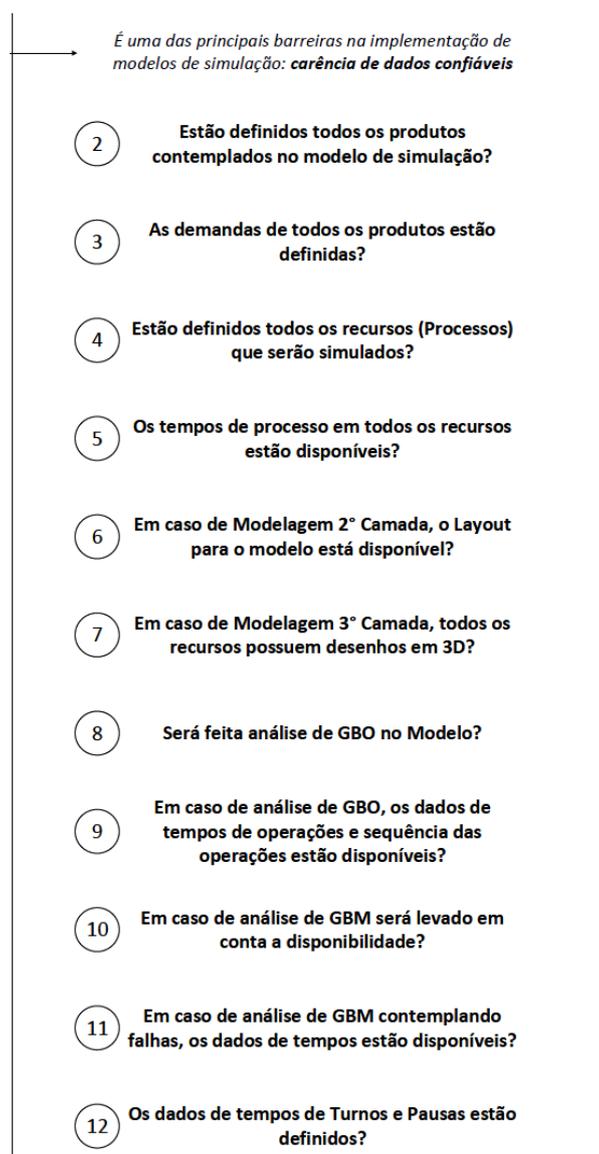
Questiona se a análise de Gestão Baseada em Manutenção (GBM) considerará a disponibilidade dos recursos, permitindo a identificação de gargalos e falhas.

**Passo 11 - Dados para GBM contemplando falhas**

Pergunta se, na análise de GBM que envolve falhas, os dados de tempos estão devidamente registrados, para que o modelo simule cenários realistas de manutenção e reparo.

**Passo 12 - Dados de turnos e pausas**

Finaliza verificando se os dados relacionados aos tempos de turnos e pausas estão claramente definidos. Esses dados são essenciais para representar o ciclo de trabalho no modelo.

Figura 46 – Estrutura *Checklist* das Informações

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos Arquivos da Empresa (2024) e Instituto SENAI de Inovação (2022), 2024.

Essa sequência de perguntas atua como um *checklist* para garantir que todas as informações necessárias estejam disponíveis e sejam confiáveis antes de iniciar o desenvolvimento ou a validação do modelo de simulação. A organização e clareza dessas etapas ajudam a reduzir incertezas e a aumentar a confiabilidade dos resultados gerados pela simulação. Essas etapas foram desenvolvidas com base em um treinamento realizado com o Instituto SENAI de Inovação (2022) e estruturadas a partir da experiência do autor, de modo a servirem como um *checklist* para auxiliar o responsável pelo desenvolvimento dos modelos.

A **quarta etapa da estrutura** na sua parte superior mostra a sequência de passos do estudo de simulação, de outros autores, relacionando-as através das cores com a primeira etapa da estrutura (Fluxo das etapas de um Estudo de Simulação), sendo elas:

- **Definição do Problema e Objetivos:** Etapa inicial, focada na identificação clara do problema e no estabelecimento de metas para o projeto.
- **Coleta de Dados:** Processo de reunir informações relevantes sobre o sistema atual, como parâmetros de produção e restrições.
- **Desenvolvimento do Modelo:** Construção do modelo de simulação que representa o estado atual ou futuro do sistema produtivo.
- **Validação e Verificação do Modelo:** Verificação da fidelidade do modelo em relação ao processo real, garantindo sua consistência e aplicabilidade.
- **Execução da Simulação:** Realização de experimentos e análise de cenários alternativos para avaliar melhorias.
- **Análise dos Resultados:** Interpretação dos dados gerados pela simulação para fundamentar as decisões.
- **Documentação e Comunicação:** Registro e compartilhamento das descobertas com as partes interessadas.
- **Implementação e Acompanhamento:** Aplicação das melhorias identificadas no sistema real e monitoramento contínuo.

Logo após, é apresentado o Método proposto por Schmidt (2019) com pequenas alterações que tem por objetivo relacionar com o restante da estrutura da simulação., conforme observado na figura 47.

O Método desenvolvido por Schmidt (2019) implementa um Sistema de Produção na Indústria de Autopeças, destacando a integração de metodologias amplamente aplicadas no contexto da Engenharia de Produção. A proposta estrutura-se em quatro etapas principais e está alinhada ao uso de ferramentas de simulação para o mapeamento, construção e consolidação de processos produtivos.

O método é estruturado em torno das etapas do ciclo PDCA (Planejar, Fazer, Checar, Agir), com as seguintes fases:

**Planejar:**

- Elaboração de um plano de trabalho detalhado.

- Identificação do estado atual da área, principais oportunidades de melhoria e definição das metas e equipes.
- Planejamento de reuniões e treinamentos iniciais.

**Estabilizar:**

- Aplicação de ferramentas de Gestão da Produção, como:
  - Fluxo Contínuo;
  - Metodologias de 5S e Kaizen;
  - Redução de setups (Setup Rápido);
  - Gestão Visual e padronização de rotinas.
- Foco em melhorar os processos e implementar novas rotinas de trabalho.

**Simular:**

- Validação do estado atual por meio de simulação de eventos discretos.
- Teste de cenários futuros, inclusão de novas tecnologias e avaliação de projetos viáveis.
- Ferramentas de simulação auxiliam no entendimento de sistemas complexos, dinâmicos e com alta aleatoriedade.

**Melhorar:**

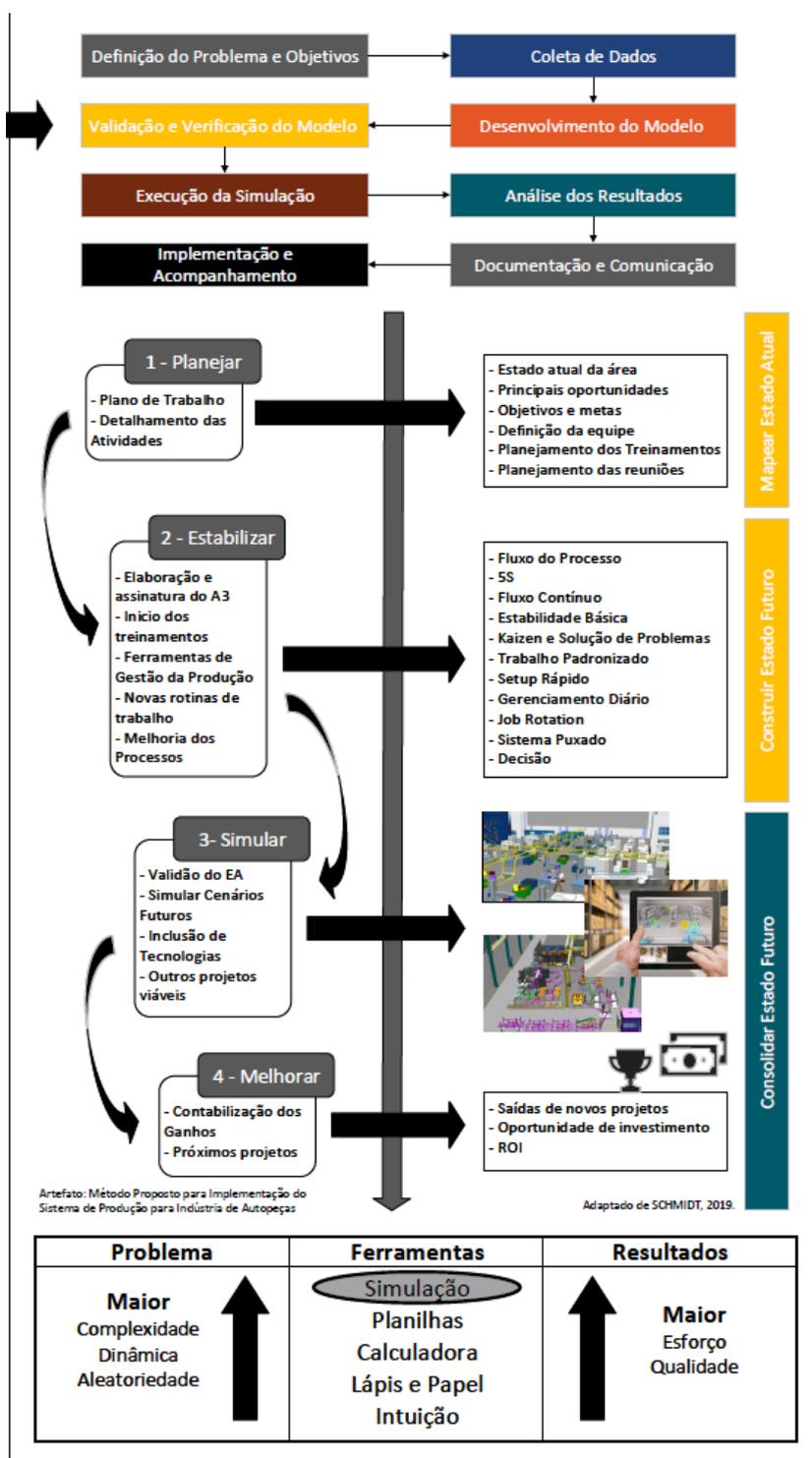
- Consolidação das melhorias por meio da contabilização de ganhos e identificação de novas oportunidades de investimento.
- Proposta de projetos futuros baseados nos resultados da simulação.

Neste caso, o método busca construir o Estado Futuro do processo produtivo, integrando práticas como:

- Mapeamento do estado atual;
- Definição e construção do estado futuro;
- Consolidação das melhorias aplicadas.

Logo após o método, é pontuado uma planilha que tem por objetivo ressaltar que o uso de ferramentas de simulação é prioritário para resolver problemas com alta complexidade, dinamismo e aleatoriedade.

Figura 47 – Estrutura Sistema de Produção na Indústria de Autopeças



Fonte: Elaborado pelo autor com base em Schmidt (2019), 2024.

Esse conjunto de artefatos é uma adaptação do trabalho de Schmidt (2019) e representa uma abordagem robusta para a melhoria contínua, alinhada ao contexto da Indústria 4.0, promovendo a integração de tecnologias, otimização de processos e resultados sustentáveis na indústria de autopeças.

#### 4.1.2.1 Boas práticas para o Gerenciamento de Modelos

As boas práticas para o gerenciamento de modelos de simulação são fundamentais para garantir que esses modelos sejam eficazes, robustos e capazes de atender às necessidades dinâmicas da indústria. Esse gerenciamento eficaz abrange diversas dimensões, desde a integridade dos dados utilizados, até a capacitação das equipes envolvidas. A seguir, detalham-se alguns dos principais aspectos a serem considerados, identificados no processo de RSL.

Uma das práticas mais importantes é manter um banco de dados ou dados de entrada, confiáveis. Os dados utilizados na construção de modelos de simulação precisam ser precisos, completos e atualizados regularmente, já que a qualidade dos resultados da simulação está diretamente relacionada à qualidade dos dados.

Para garantir a confiabilidade, é essencial que os processos de coleta e verificação de dados sejam rigorosos, com a devida atenção às fontes de informação e às metodologias de validação. Um banco de dados bem gerido reduz significativamente os riscos de falhas e inconsistências nos modelos, além de otimizar o processo de construção dos modelos e tomada de decisões.

A gestão dos modelos de simulação envolve várias camadas de cuidado e planejamento. Entre elas, destaca-se a transferência de tecnologia, que é crucial para que o conhecimento adquirido com o desenvolvimento dos modelos seja disseminado e absorvido pela organização. Isso evita a dependência de especialistas específicos e garante a continuidade das práticas de simulação mesmo com a rotatividade de pessoal.

Outro ponto importante é a promoção de uma cultura organizacional que valorize o uso de simulação como ferramenta estratégica de tomada de decisão, envolvendo as equipes e gestores no processo e destacando os benefícios que a simulação traz para o planejamento operacional.

O acompanhamento do ciclo de vida do modelo é outra prática essencial, assegurando que os modelos sejam continuamente revisados, atualizados e aprimorados para refletir as mudanças nos processos produtivos e nos ambientes de negócio. Além disso, a produção de manuais e documentação detalhados garante que o conhecimento sobre os modelos seja preservado e facilmente acessível, permitindo a replicação e adaptação dos modelos por outros profissionais. As

políticas de padronização também são importantes, assegurando uniformidade nos processos de modelagem e na documentação entre diferentes setores ou unidades da organização.

Outro fator fundamental são as competências técnicas e treinamentos das equipes envolvidas na simulação. Para que os modelos sejam eficazes, é necessário que os profissionais tenham uma base sólida em estatística, essencial para interpretar corretamente os resultados dos modelos e avaliar sua validade. O conhecimento em modelagem também é crucial, permitindo que os profissionais construam modelos realistas e representativos dos processos produtivos.

Além disso, o conhecimento técnico dos processos da empresa é indispensável para que o modelo seja ajustado às particularidades da operação. As habilidades computacionais são outro ponto chave, uma vez que as ferramentas de simulação exigem domínio de *softwares* específicos e a capacidade de realizar análises de dados complexos. Por fim, programas contínuos de treinamento asseguram que as equipes estejam sempre atualizadas com as melhores práticas, garantindo que a simulação continue a ser uma ferramenta útil e eficaz no ambiente produtivo.

Essas boas práticas criam uma estrutura sólida para o gerenciamento de modelos de simulação, permitindo que as indústrias, como a automotiva, maximizem os benefícios dessa ferramenta no apoio à tomada de decisões estratégicas e operacionais. A partir disso e baseado na RSL, foi elaborado pelo autor a figura apresentada a seguir (figura 48), que sintetiza os principais tópicos relacionados às boas práticas no gerenciamento de modelos de simulação. Essa figura está integrada à estrutura geral desenvolvida para a abordagem de Simulação e reúne aspectos fundamentais identificados na literatura e na prática industrial.

Figura 48 – Estrutura Boas Práticas para o Gerenciamento de Modelos de Simulação



Fonte: Elaborado pelo autor com base em Williams (1996), Jagstam E Klingstam (2002), Mayer e Spieckermann (2010), Machado (2006), Fronteli et al., (2022), Goldmeyer (2012), 2024.

#### 4.1.3 AVALIAÇÃO DOS ARTEFATOS E ADEQUAÇÃO PARA O CASO

A análise dos tópicos anteriores revelou que os artefatos identificados na RSL foram projetados para aplicações genéricas e adaptáveis a diferentes segmentos. Por isso, tornou-se indispensável avaliar individualmente cada artefato e ajustá-los, de forma a otimizar sua eficiência para a aplicação específica na pesquisa em questão.

Com base nas características identificadas, o processo produtivo desta empresa apresenta elevada complexidade, abrangendo 5 Unidades de Negócio, múltiplos fluxos produtivos distintos, maquinário e equipamentos compartilhados, diversidade de matéria-prima, ampla gama de peças fabricadas e variedade de códigos para um mesmo tipo de componente. Esse contexto inclui ainda fatores como logística interna, planejamento de produção, *buffers* e a dinâmica do mercado de autopeças, os quais aumentam significativamente os desafios de gestão das operações e do *layout* produtivo.

Para que os artefatos e metodologias selecionados sejam aplicáveis à empresa, é essencial considerar essa complexidade no setor de autopeças e realizar as adequações necessárias para torná-los mais práticos e facilmente implementáveis. Esses ajustes visam a geração de resultados, simplificando o processo de planejamento e simulação de *layout* e aprimorando a gestão dos modelos de simulação, de modo a apoiar diretamente a tomada de decisão.

#### 4.2 INTEGRAÇÃO ENTRE OS CONJUNTOS DE ARTEFATOS

A integração entre os artefatos, metodologias e práticas identificadas é essencial para garantir a eficiência e a coesão do processo produtivo na indústria automotiva, buscando atender o objetivo deste trabalho. Para isto, o *Layout* e *SLP*, as Etapas do Estudo de Simulação, e as Boas Práticas para o Gerenciamento de Modelos de Simulação devem ser aplicados de maneira coordenada, assegurando que os elementos desenvolvidos em cada etapa interajam de forma harmônica, potencializando os benefícios de cada artefato.

O Planejamento Sistemático de *Layout* define a base estrutural do espaço produtivo, sendo crucial que este seja alinhado às condições reais de operação e às

demandas de flexibilidade e eficiência da planta. A modelagem e simulação de eventos discretos, por sua vez, complementam o *layout* ao permitir a antecipação de resultados, testes de cenários e ajustes dinâmicos no processo produtivo, viabilizando uma tomada de decisão informada com base em dados simulados.

Ao integrar essas duas frentes com as Boas Práticas para o Gerenciamento de Modelos, como a padronização, documentação robusta e gestão do ciclo de vida dos modelos, garante-se a longevidade e eficácia contínua dos modelos de simulação. A transferência de tecnologia entre equipes, bem como a formação e treinamento de pessoal com competências técnicas adequadas, é fundamental para que todos os atores envolvidos no processo compreendam e utilizem os artefatos com eficácia. Assim, a integração desses componentes não só otimiza o fluxo produtivo, mas também institucionaliza a utilização da simulação como ferramenta estratégica no processo decisório.

#### 4.2.1 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E APLICAÇÃO EM UM CASO PILOTO NA EMPRESA

A aplicação dos artefatos e metodologias previamente identificados e ajustados será demonstrada por meio de um caso piloto, permitindo uma análise prática em uma linha produtiva específica na empresa. Este tópico apresenta um passo a passo detalhado da implementação de cada artefato, visando validar sua eficácia e adaptabilidade no ambiente real. Ao conduzir essa aplicação em uma linha piloto, busca-se não apenas testar a funcionalidade e a integração dos artefatos, mas também identificar oportunidades de refinamento, de modo a estabelecer uma base sólida para uma futura expansão em escala completa na organização, discutindo tais resultados.

A empresa é uma fabricante de autopeças que produz componentes de conjuntos soldados destinados a montadoras nacionais e internacionais, conforme pontuado nos tópicos anteriores. Os produtos atendem a requisitos rigorosos de qualidade e prazos de entrega, operando em um ambiente de alta complexidade produtiva. O foco está em otimizar o *layout* para aumentar a eficiência e reduzir custos logísticos, considerando as necessidades específicas do setor automotivo.

Com base nestas informações, foi escolhido uma linha de produção responsável pela fabricação de uma peça conhecida como tampa do banjo, se trata de um componente utilizado em sistemas de transmissão de caminhões, especificamente no eixo traseiro. O termo "banjo" refere-se ao formato do alojamento diferencial, que lembra um instrumento banjo devido ao seu design circular central (onde o conjunto do diferencial é instalado) com extensões para os eixos.

A escolha desta linha de produção para o desenvolvimento da pesquisa foi motivada por se tratar de um produto recém-incorporado ao portfólio da empresa, conquistado através de um processo de cotação com o cliente. Além disso, o produto apresenta um valor significativo de faturamento e potencial para crescimento na demanda nos próximos anos, reforçando sua relevância estratégica para a organização, na imagem abaixo, é possível visualizar uma ilustração representativa de um dos modelos de peça em questão, destacando suas principais características e detalhes relevantes para o estudo.

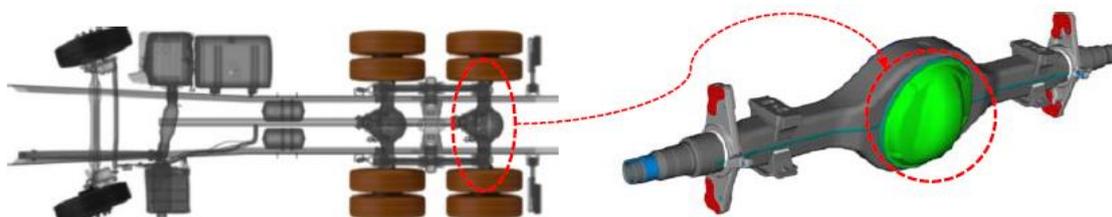
Figura 49 – Desenho da Peça do Estudo



Fonte: Arquivos da Empresa, 2024.

Ainda, na imagem abaixo é possível observar o exemplo da aplicação da peça em questão na montagem do Cliente.

Figura 50 – Desenho da Peça do Estudo



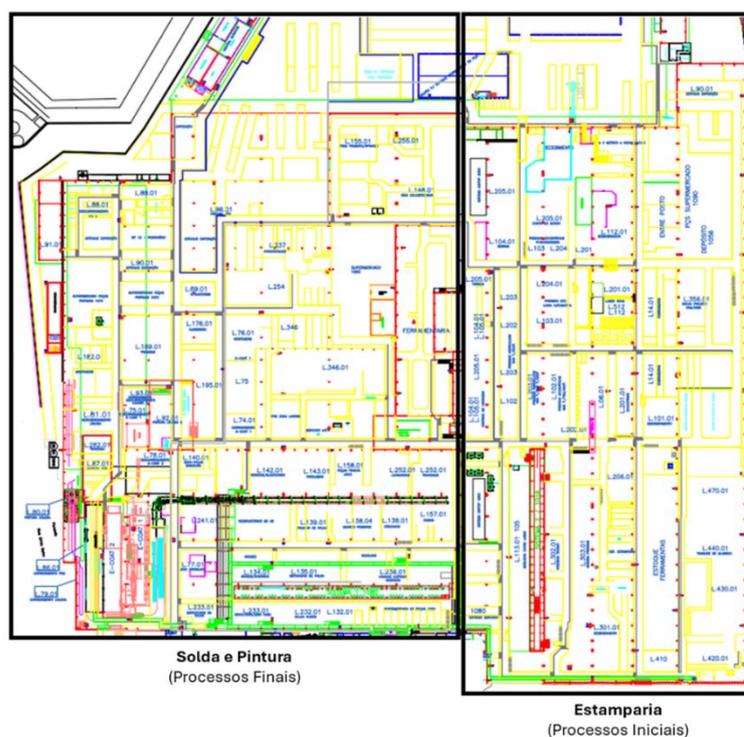
Fonte: Arquivos da Empresa, 2024.

Iniciando o processo de aplicação das estruturas propostas, a **escolha do layout produtivo adequado** é fundamental para garantir a eficiência operacional, especialmente em indústrias de transformação, como a fabricação de autopeças.

Nessa indústria, são comuns os seguintes tipos de *layout*, pontuados e avaliados na primeira parte da estrutura:

De encontro com Slack et al. (2009) o *layout* por Produto: Ideal para linhas de produção em massa, onde há alta padronização; Por processo: Usado em operações que exigem flexibilidade para diferentes produtos; Celular: Uma combinação de características dos *layouts* por produto e processo, utilizado para atender ao mix de produtos; Posicional: Para produtos de grandes dimensões, onde o material permanece fixo e os recursos se deslocam. Pelo fato de a empresa em questão já possuir boa parte de seus processos iniciais consolidados (Quadrante de Corte, Estamparia, etc), o *layout* dela pode ser considerado misto, com processos iniciais com um *layout* por processo e processos finais, considerados celulares, conforme pode-se observar no macro *layout* da empresa, referente a Fábrica I, abaixo.

Figura 51 – Macro *Layout* da Empresa



Fonte: Arquivos da Empresa, 2024.

Para este estudo, na empresa de autopeças, a abordagem celular será priorizada para atender ao mix de componentes e às demandas de personalização de clientes, sem perder eficiência em altos volumes.

Seguindo a **seqüência da estrutura** proposta, a parte do macroplanejamento de *layout* é estruturado em fases, considerando os objetivos de longo prazo da planta

industrial. As etapas são observadas da mesma forma através de um exemplo no trabalho de Ferreira (2021) e incluem:

#### **Fase I - Localização:**

Nesta etapa inicial, é definida a localização ideal para a planta industrial. Neste caso, a empresa já possui seu parque fabril consolidado no Noroeste do estado do Rio Grande do Sul, sendo assim, não serão analisados os aspectos de proximidade com os principais clientes etc. Caso a linha de produção fosse constituída do zero, a escolha da localização deveria considerar fatores externos como proximidade com fornecedores, clientes, infraestrutura logística, custos e disponibilidade de mão de obra.

#### **Fase II - Layout Geral:**

O *layout* geral oferece uma visão macro da distribuição das áreas na planta, concentrando-se no posicionamento estratégico de grandes setores ou funções, como produção, estoque e expedição, sendo essencial para garantir a integração e a fluidez das operações. Pelo fato de o parque fabril estar bem estruturado, não serão consideradas grandes alterações quanto a posição dos estoques e outros. Para a área de produção do produto em questão, será disponibilizado o espaço necessário, dentro do macro quadrante da solda.

#### **Fase III - Layout Detalhado:**

Nessa etapa, o *layout* será detalhado, definindo a disposição específica de máquinas, equipamentos, linhas de produção e áreas auxiliares, com o objetivo de minimizar distâncias percorridas, evitar cruzamentos de fluxo e otimizar o uso do espaço, para isso, serão seguidas as etapas do *SLP* pontuadas na sequência da estrutura.

#### **Fase IV - Implantação:**

A fase final consiste na execução do *layout* planejado, assegurando sua implementação física e a validação das soluções propostas, com a progressão entre as etapas representada ao longo de um eixo de tempo, destacando sua natureza sequencial e interdependente. Para este estudo, a implantação dele, dependerá da decisão da Empresa, desta forma não será detalhada.

Além dessas fases do Projeto, na base da imagem, são destacados os principais objetivos do planejamento de *layout*, que vão ao encontro a **terceira etapa da estrutura** e que refletem as boas práticas, os requisitos básicos e os critérios de

sucesso do processo, pontuadas abaixo. Esses requisitos foram considerados e aplicados durante o desenvolvimento do projeto de *layout*, alinhando-se às diretrizes estabelecidas nos trabalhos de Vieira (1979) e Slack, Chambers e Johnston (2009):

- **Atendimento Atual e Futuro:** Garantia de que o *layout* atenda às demandas atuais, considerando também a perspectiva de crescimento e possíveis mudanças futuras, é um dos objetivos centrais deste estudo. Nesse contexto, o *layout* em análise foi projetado para alcançar a demanda diária total de peças especificada pelo cliente, com a capacidade de absorver um aumento projetado de até 10%. Ressalta-se que os dados exatos de quantidade não são apresentados neste trabalho devido a questões de confidencialidade.
- **Integração entre áreas, equipamentos e pessoas:** Busca de sinergia entre os componentes da planta, neste caso, dentro do espaço disponível para a área de produção, será priorizado a disposição da linha de solda, dentro do parque fabril, próximo ao depósito de peças que fará o pagamento dos componentes fabricados nos processos iniciais (corte e estamparia).
- **Mínima distância percorrida:** Redução dos deslocamentos de materiais e pessoas, minimizando desperdícios, este, será um dos objetivos do estudo em questão.
- **Obediência ao fluxo das operações:** Planejamento que respeita a sequência lógica dos processos produtivos que será pontuada nas primeiras etapas do *SLP*, buscando a minimização das distâncias percorridas pelos materiais, evitando cruzamentos ou retornos. Além disso, o fluxo de materiais pode ser sinalizado, utilizando de demarcações no piso indicando rotas, entradas e saídas etc.
- **Melhor utilização dos espaços:** Uso eficiente das três dimensões (vertical, horizontal e volumétrica), caso haja possibilidade, será verticalizado o armazenamento de dispositivos e meios auxiliares de produção, para um melhor aproveitamento do espaço. Além disso, ele deve promover a acessibilidade a equipamentos e instalações para limpeza e manutenção, ou seja, a disposição dos equipamentos deve facilitar intervenções rápidas e frequentes (acesso ao robô de solda para programação, manutenção, troca de *pack* de arrames de solda, etc).

- **Satisfação e segurança na operação:** Priorização das condições de trabalho seguras e ergonômicas, levando em consideração a opinião dos operadores, segurança do trabalho, gestão e demais envolvidos. Além de proporcionar fatores básicos como ambiente iluminado, ventilado, limpo e organizado, garantindo o bem-estar, reduzindo cansaço e aumentando a produtividade dos colaboradores.
- **Flexibilidade:** Capacidade de adaptação do *layout* a mudanças nos processos produtivos, caso haja necessidade de pequenas alterações no produto, acréscimo de bocais, alterações na dimensão, expansão etc.

Esses objetivos destacam o alinhamento do planejamento de *layout* com os princípios da produção enxuta e da eficiência operacional, que serão respeitados durante o desenvolvimento da proposta de *layout*. Neste estudo, serão priorizados elementos como flexibilidade do *layout* para suportar mudanças de *mix* e volumes, além de requisitos relacionados à ergonomia e à segurança.

A **quarta etapa da estrutura** se refere aos dados de entrada para o *SLP*. Estes dados de entrada do *SLP*, representados pela sigla P-Q-R-S-T, consistem em cinco categorias fundamentais: Produto, Quantidade, Roteiro, Serviços de Suporte e Tempo (Muther, 1978).

- **Produto (P):**

Conforme mencionado anteriormente, o produto escolhido para o desenvolvimento do estudo é conhecido como tampa do banjo, ou tampa do diferencial, se trata de um componente utilizado em sistemas de transmissão de caminhões, especificamente no eixo traseiro. O Projeto do cliente, prevê variação de 9 modelos diferentes (conforme figura 52), estes podem possuir bocais, conexões ou não, conforme ilustração dos modelos abaixo. Além disso possuem 500 x 500 x 230mm (h) e peso aproximados de 20 quilos.

Figura 52 – Desenho da peça e diferentes modelos



- **Quantidade (Q):**

Com base na demanda inicial estimada pelo cliente durante as negociações, a produção anual projetada é de 55.000 peças, o que corresponde a aproximadamente 200 peças por dia. Esses números foram adotados para o desenvolvimento deste estudo, respeitando a confidencialidade das informações específicas.

De acordo com os dados fornecidos pela Engenharia de Processos da unidade, a meta de produção está planejada para ser alcançada em dois turnos de trabalho, envolvendo aproximadamente nove colaboradores na operação das etapas de desengraxe, soldagem e embalagem.

Neste caso, a quantidade produzida de cada item é um fator crucial para determinar os volumes de produção e o dimensionamento adequado dos recursos, como espaço, equipamentos e mão de obra. Este dado de entrada é indispensável para o planejamento da capacidade produtiva do sistema, evitando problemas como subdimensionamento, que pode causar gargalos, ou superdimensionamento, que resulta em desperdício de recursos.

- **Roteiro (R):**

O roteiro corresponde ao mapeamento dos processos produtivos, com base nisso, foi mapeado a sequência de operações do processo em questão, pontuado abaixo:

**Processos Iniciais (Fluxo por Processo):**

- Corte Laser: A primeira etapa do processo de produção deste item se trata do corte em máquinas de corte laser, localizadas na região dos processos iniciais da fábrica.

- Conformação: Após as peças serem cortadas, são direcionadas para a área destinada as prensas, que fazem a conformação do corpo da tampa do banjo.

- Mercado de Peças (Estoque) após os processos iniciais: Este, é responsável por armazenar os componentes produzidos na estamparia para posterior pagamento para a Linha de Solda, responsável pela união dos conjuntos conforme cada modelo.

**Processo de Solda (Celular):**

- **Desengraxe:** Após os componentes serem pagos através do mercado para a Linha de solda, passam pelo processo de desengraxe, em uma máquina lavadora,

responsável pela remoção do excesso do óleo presente na peça, oriundo do processo de conformação.

- **Solda dos Componentes (Robô):** Após o desengraxe, a peça passa para o processo de solda no robô, nesta etapa, é realizada a solda do corpo com as respectivas conexões, que variam conforme cada modelo. Este processo é realizado no robô, em mais de um estágio.

- **Acabamento:** Após o processo de solda no robô, são removidos os respingos de solda conforme necessidade, realizado o acabamento na peça de forma manual.

- **DMM:** Após o processo manual de acabamento, as peças passam pela conferência em dois dispositivos de medição, onde cada um deles é responsável por alguns dos modelos de tampas, essa aferição no dispositivo é feita de forma manual por dois operadores, um em cada.

- **Rastreabilidade:** Após a aferição nos dispositivos DMM é realizado a gravação do código de rastreabilidade, através de uma máquina gravadora microponeto, em cada uma das tampas.

- **Inspeção Qualidade:** O processo de inspeção visual é realizado logo após a gravação do código de rastreabilidade, em uma bancada, por um operador responsável pela qualidade.

- **Embalamento:** Logo após a inspeção, é realizado o embalamento das tampas, nas embalagens (Caixas de madeira) do próprio cliente, neste caso, as peças são enviadas sem pintura para o cliente.

- **Serviços de Suporte (S):**

Neste estudo, destacam-se os serviços de suporte essenciais ao funcionamento do sistema produtivo. A área de Ferramentaria, responsável pela manutenção e ajustes dos dispositivos de solda e medição, desempenha um papel centralizado e estratégico, estando localizada próxima à área destinada à produção do item em análise. De forma similar, a equipe de manutenção da unidade, responsável pelos reparos e consertos de todas as máquinas da linha de produção, está fisicamente próxima à linha, garantindo agilidade na resolução de problemas técnicos.

Além disso, a logística e a gestão de pagamento das peças necessárias à linha de produção são atribuídas às áreas de PPCPM (Planejamento, Programação

e Controle da Produção e Materiais) e Logística, que devem operar de maneira sincronizada com a produção para assegurar o fluxo contínuo de materiais. O líder de produção, por sua vez, tem sua área de trabalho estrategicamente posicionada ao lado da linha de produção, permitindo maior proximidade com as operações. Quando necessário, ele pode recorrer ao suporte da Unidade de Negócio, localizada em uma sala adjacente, para evitar paradas não planejadas, assegurar a continuidade das operações e promover a eficiência do sistema produtivo.

- **Tempo (T):**

Neste estudo, os tempos de produção em cada uma das operações foram inicialmente estimados pela equipe de Engenharia de Processos da Unidade. Posteriormente, essas estimativas foram submetidas a medições durante os primeiros dias de produção, com o objetivo de validar os tempos previstos, realizar ajustes necessários e identificar oportunidades de melhoria no processo produtivo.

Os tempos dentro da Linha de Produção são apresentados a seguir:

- Lavadora (Desengraxe): 480 segundos
- Robô de Solda (Soldagem): 60 ou 180 segundos, dependendo do código
- Acabamento: 180 segundos
- DMM 1 e 2: 170 segundos
- Gravadora: 60 segundos
- Inspeção: 72 segundos
- Embalamento: aproximadamente 60 segundos.

O tempo é um dado crítico no *SLP*, pois auxiliar na definição da duração, a frequência e os prazos das operações e processos produtivos, além de auxiliar na identificação de possíveis gargalos.

A **quinta etapa da estrutura** se refere aos procedimentos da Metodologia do *SLP* que serão exemplificadas neste mesmo estudo (Muther, 1978), o trabalho de Negrão et al. (2019) contribui significativamente para a consolidação desta metodologia. A partir de uma RSL que analisou 9.947 artigos e aprofundou-se em 12 deles, foi possível concluir que o método mais amplamente utilizado para o planejamento de *layout* é o *SLP*. Esse método é frequentemente combinado com ferramentas de melhoria que abrangem aspectos relacionados ao processo, aos produtos e à ergonomia do sistema produtivo.

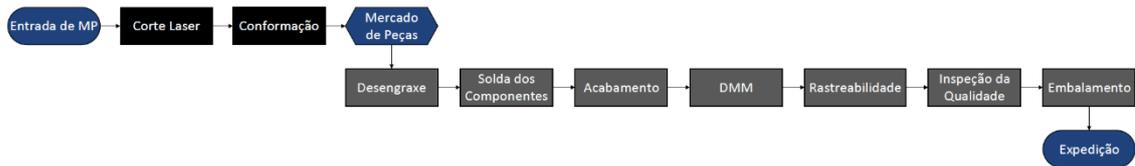
### 1. Análise do Fluxo de Materiais e Inter-relações entre Atividades

Nesta primeira etapa do SLP foi utilizado 2 das 3 ferramentas pontuadas na estrutura, com o objetivo de identificar as relações críticas entre processos, setores e materiais, sendo feita a Análise de Fluxos de Produtos ou Recursos:

#### Diagrama de Fluxo

Foi desenvolvida a imagem abaixo, que faz uma representação visual do percurso dos materiais e informações. Este, também servirá de base para o desenvolvimento do modelo conceitual, na posterior simulação.

Figura 53 – Diagrama de Fluxo - Estudo

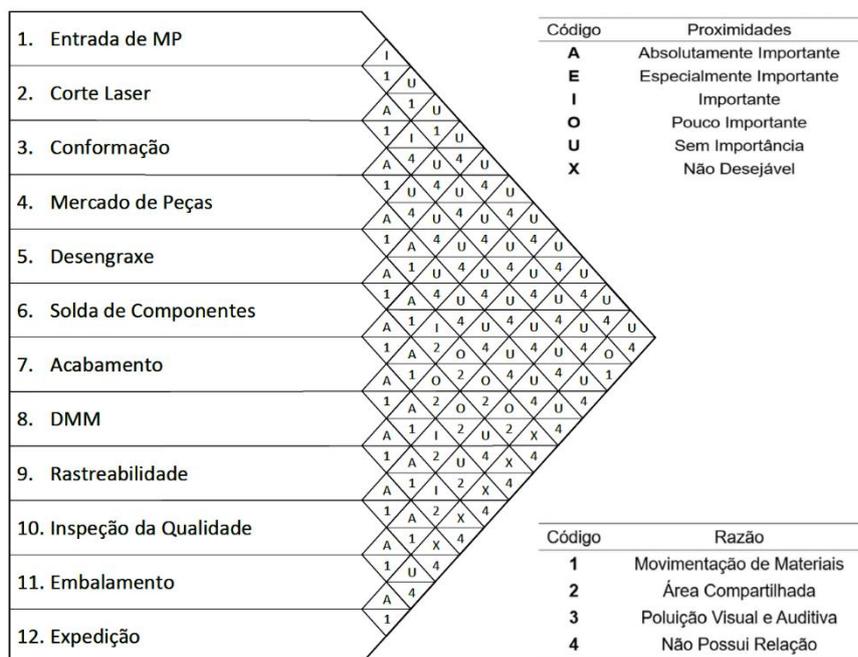


Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

#### Diagrama de Inter-relações

Logo após o desenvolvimento do diagrama de fluxo, foi proposto a criação do diagrama de inter-relações que tem por objetivo priorizar as proximidades entre atividades e setores (ilustrado na figura 54), de acordo com os códigos de inter-relação pontuados na estrutura (A - Absolutamente Necessário, E - Especialmente Importante etc.):

Figura 54 – Diagrama de Inter-Relações - Estudo



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

## 2. Espaço Necessário e Espaço Disponível

Nesta etapa do *SLP*, é realizada uma análise detalhada para comparar o espaço necessário às operações produtivas com o espaço físico disponível na planta. O levantamento do espaço necessário inclui o mapeamento de todos os meios de produção, como lavadora, robô de solda e demais infraestruturas, além dos volumes relacionados à produção, como peças e embalagens movimentadas durante o processo. Também são considerados outros recursos menores que influenciam o dimensionamento do *layout*. Com base nessas informações, foi elaborada a tabela a seguir, contendo a descrição de cada item e seu respectivo tamanho:

Tabela 5 – Requisitos de Espaço - Estudo

Requisitos de Espaço	
Atividades	Requisitos de Espaço (m <sup>2</sup> )
1 Entrada de MP	240 m <sup>2</sup> (20 x 12)
2 Corte Laser	325 m <sup>2</sup> (20,2 x 16,1)
3 Conformação	55 m <sup>2</sup> (9 x 6,1)
4 Mercado de Peças	120 m <sup>2</sup> (12,5 x 9,7)
5 Desengraxe	9,17 m <sup>2</sup> (3,4 x 2,7)
6 Solda de Componentes	35,84 m <sup>2</sup> (6,3 x 5,7)
7 Acabamento	2,25 m <sup>2</sup> (1,5 x 1,5)
8 DMM	2,95 m <sup>2</sup> (2 x 1,5)
9 Rastreabilidade	2,95 m <sup>2</sup> (1,9 x 1,6)
10 Inspeção da Qualidade	2,95 m <sup>2</sup> (1,9 x 1,6)
11 Embalamento	2,7 m <sup>2</sup> (1,8 x 1,5)
12 Expedição	100 m <sup>2</sup> (12 x 8,35)

Fonte: o Autor (2024).

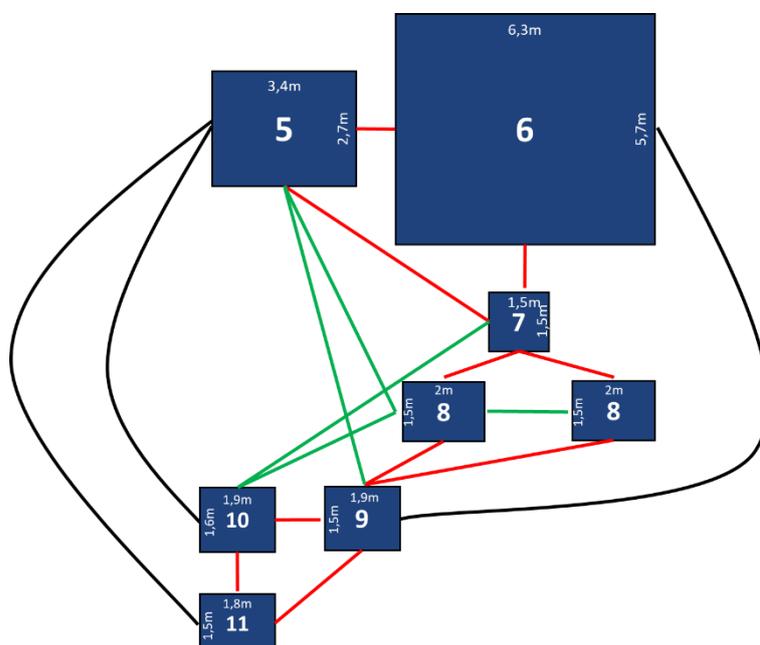
Em relação ao espaço disponível para a instalação da nova linha de produção, a empresa dispõe de aproximadamente **250 m<sup>2</sup>** (20,2 x 12,4m) dedicados a novos negócios dentro desta unidade. Esse valor exclui os espaços já alocados para as áreas existentes, como Entrada de Matéria-Prima (MP), Corte a Laser, Conformação e Mercado de Peças, que permanecerão inalterados, seguindo o fluxo estabelecido por processo. Ainda, para este caso foi identificado as restrições físicas e limitações estruturais dentro desta área, onde é possível identificar a presença de duas passarelas, pilares da fábrica e corredores que ficam próximos a área disponível.

Adicionalmente, serão considerados os potenciais gargalos presentes na linha de produção (desengraxe, solda de componentes e acabamento), garantindo que haja espaço adequado entre as operações para a implementação de *buffers*, como medida de proteção.

### 3. Adaptação às Necessidades e Restrições

Nesta etapa do SLP, é elaborada a primeira configuração do *layout*, considerando a proteção dos gargalos, as limitações práticas e as necessidades identificadas por meio do diagrama de inter-relações. Esse diagrama orientou o ajuste das proximidades físicas entre processos e setores, garantindo maior eficiência e coerência com os requisitos operacionais. Segue abaixo o diagrama de Inter-relações de Espaços em sua primeira versão, na qual os números se referem aos processos com suas respectivas dimensões:

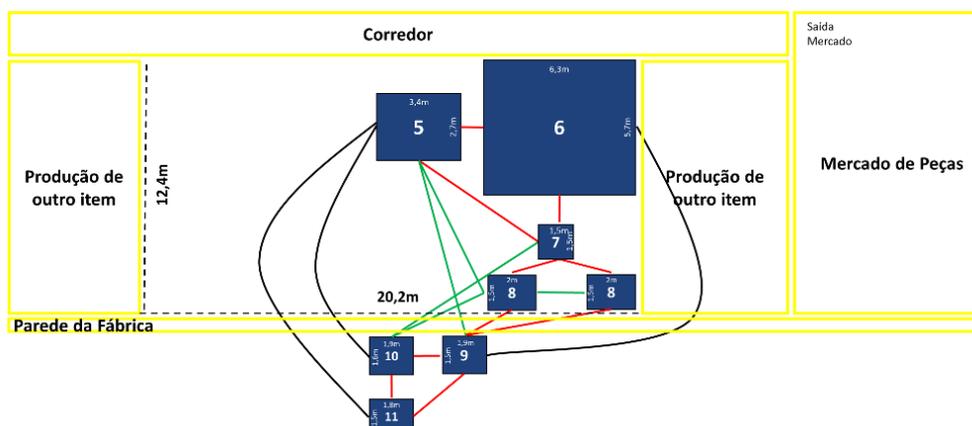
Figura 55 – Diagrama de Inter-Relações de Espaços - Estudo



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

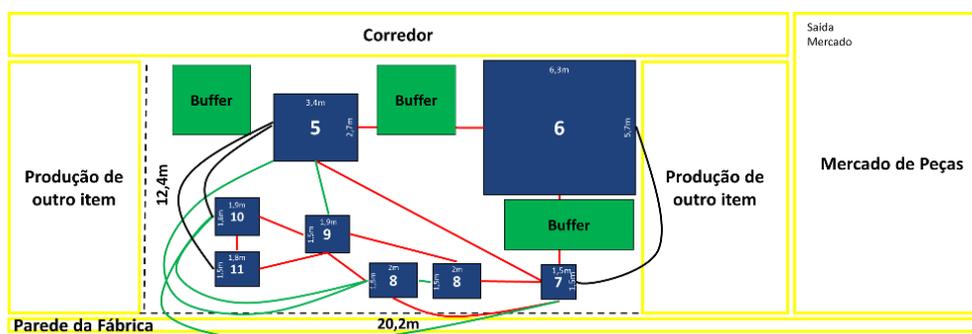
Em relação às limitações práticas do espaço disponível para a linha de produção, com dimensões de 20,2 x 12,4 metros, situado entre meio de duas outras linhas de produção, foi necessário considerar fatores específicos do ambiente. A saída do Mercado de Peças está localizada próxima ao lado direito da linha, seguida por um corredor destinado à circulação de materiais. Essas particularidades foram respeitadas e integradas ao planejamento do *layout*, garantindo a funcionalidade e fluidez do sistema, abaixo segue a inclusão destes fatores no diagrama de Inter-Relações de Espaço, mostrando estas interferências.

Figura 56 – Diagrama de Inter-Relações de Espaços com restrições - Estudo



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

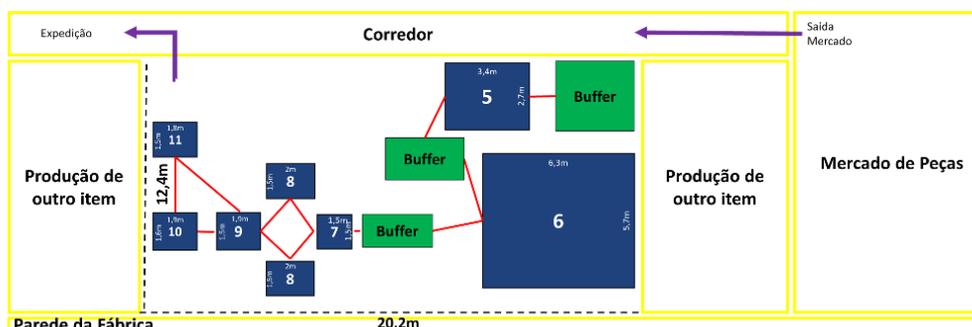
Após ajustar estas interferências, para os equipamentos ficarem dentro do espaço disponível, foram considerados os espaços entre os processos previamente identificados como potenciais gargalos – desengraxe (5), solda de componentes (6) e acabamento (7) – assegurando que o *layout* contemplasse adequações para minimizar impactos e otimizar o desempenho produtivo, através da inclusão de *buffers* de proteção, ficando da seguinte forma.

Figura 57 – Diagrama de Inter-Relações de Espaços com restrições e *Buffers* 1 - Estudo

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Após a inclusão genérica dos *buffers*, foi realizada uma nova revisão do diagrama de inter-relações dos espaços, considerando o fluxo desde a saída de peças do Mercado até a entrada no primeiro processo da linha de produção (5 – Desengraxe). O objetivo principal foi manter o fluxo de materiais o mais contínuo possível, aproveitando de forma eficiente o corredor disponível para entrada e saída das peças em produção e respeitando os limites disponíveis para a instalação da linha em questão. O *layout* resultante foi ajustado para garantir a fluidez do fluxo produtivo, respeitando as limitações de espaço e as necessidades operacionais da área, conforme abaixo:

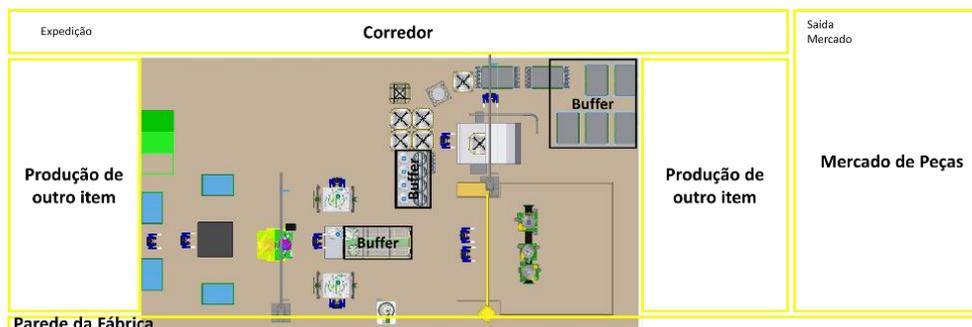
Figura 58 – Diagrama de Inter-Relações de Espaços com restrições e *Buffers* 2 - Estudo



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Após a elaboração da última versão do diagrama de inter-relações, que demonstrou a viabilidade entre o espaço necessário e o espaço disponível, a proposta do *SLP* foi digitalizada utilizando um *software* específico para o desenho de plantas baixas (*AutoCAD*). Essa etapa permitiu maior precisão na representação do *layout* e irá facilitar a análise detalhada e elaboração de novas propostas ou revisões futuras, conforme abaixo.

Figura 59 – Proposta digitalizada do Diagrama de Inter-Relações de Espaços - Estudo



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

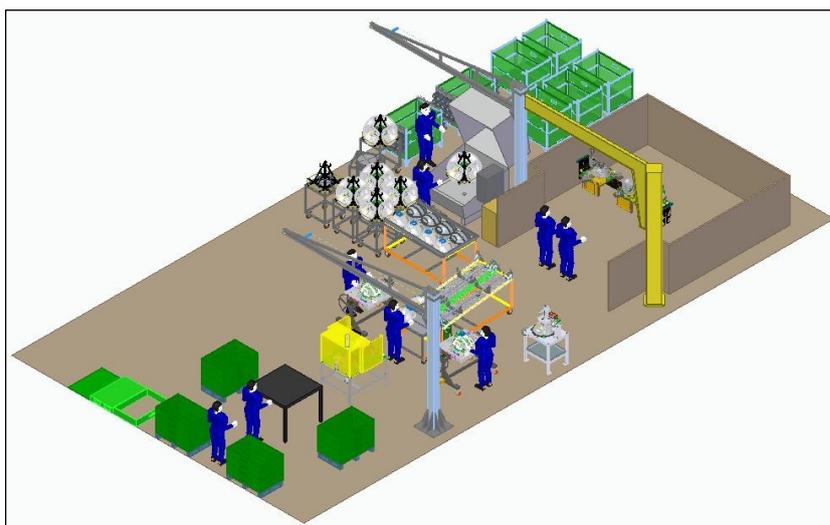
#### 4. Planejamento do Macro Esquema e Avaliação

Nesta última etapa do *SLP*, o *layout* concebido anteriormente foi detalhado, com foco na avaliação das infraestruturas necessárias e na estimativa dos custos de implementação internamente na empresa. Apesar de não ser considerado o projeto definitivo para execução, essa proposta inicial servirá como base para as próximas etapas do estudo. Posteriormente, ela será analisada e ajustada no processo de simulação, permitindo uma avaliação mais precisa de sua viabilidade técnica e operacional, antes de qualquer decisão final sobre sua aplicação, abaixo sua vista superior.

Figura 60 – *Layout* Inicial 2D - Estudo

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos Arquivos da Empresa, 2024.

Segue também a respectiva vista 3D do *layout* em questão.

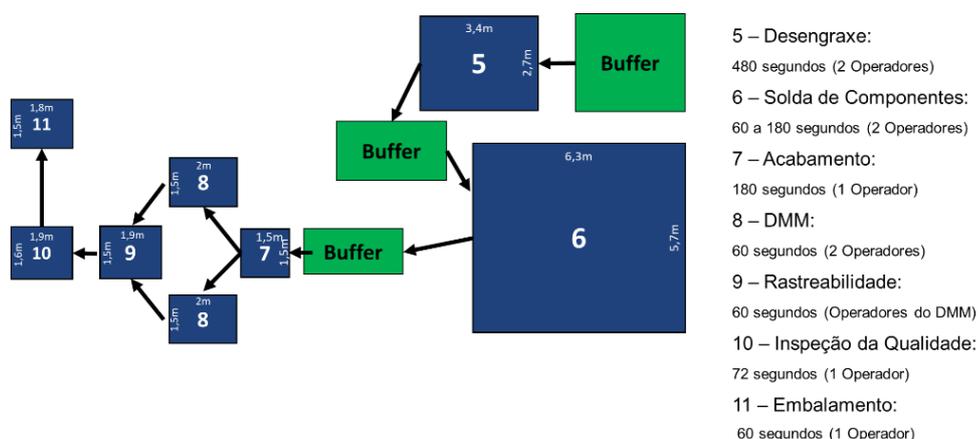
Figura 61 – *Layout* Inicial 3D - Estudo

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos Arquivos da Empresa, 2024.

Seguindo a aplicação da estrutura proposta referente as Etapas do Estudo de Simulação e Boas Práticas para a Gestão dos Modelos de Simulação. A **primeira etapa da estrutura** detalha o fluxo das etapas de um Estudo de Simulação, bastante consolidada na literatura, organizada em três fases principais: Concepção, Implementação e Análise, sendo aplicadas no estudo em questão, essa abordagem foi baseada no trabalho de Maurício (2013), que demonstrou a eficácia da aplicação de métodos estruturados para melhorar processos produtivos. Em seu estudo, foi possível alcançar um aumento de 15% na produtividade de um determinado produto, além de reduzir o lead time em 7 dias. As fases são:



Figura 63 – Modelo Conceitual para Simulação com Tempos e Operadores - Estudo



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

### 1.5 Modelagem dos dados de entrada:

Neste estudo, foram coletadas todas as informações necessárias relacionadas às taxas de produção, tempos de processo, trajetórias de movimentação e volumes de transporte. Esses dados foram obtidos por meio da Engenharia da Unidade, Líder e Coordenação de Produção, além de medições realizadas na prática. Por questões de confidencialidade, este estudo apresentará apenas os tempos de cada operação, conforme pontuado durante o *SLP* e mostrado na tabela abaixo.

Tabela 6 – Dados de entrada para Simulação - Estudo

Tempos de Processo		
	Atividades	Tempo Inicial (segundos)
5	Desengraxe	480
6	Solda de Componentes	60 ou 180
7	Acabamento	180
8	DMM	170
9	Rastreabilidade	60
10	Inspeção da Qualidade	72
11	Embalamento	60

Fonte: o Autor (2024).

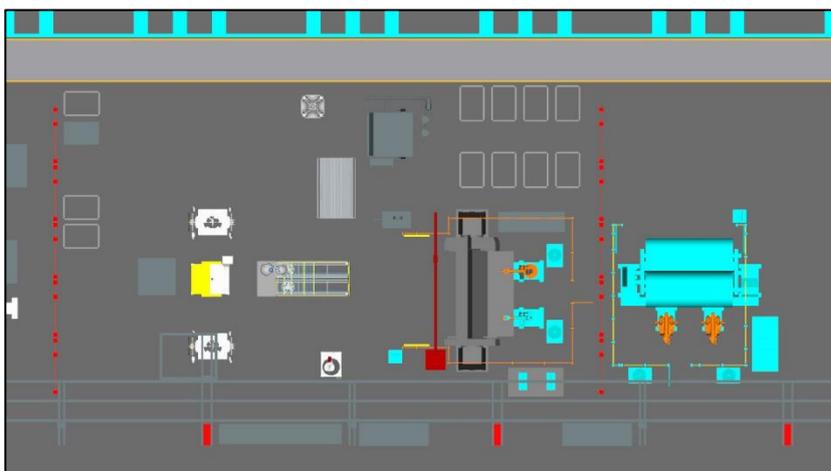
## Fase 2: Implementação

### 2.1 Construção do modelo computacional:

Com base no modelo conceitual, o *layout* foi modelado utilizando uma ferramenta de simulação computacional. No estudo em questão, empregou-se o *software Plant Simulation* da Siemens, com licença disponível na Empresa, para a construção do modelo.

A etapa inicial da construção do modelo computacional focou na representação em 2D, utilizando os próprios objetos do *software*, visando estruturar e validar o fluxo produtivo (sequência de operações), os tempos de processo, a alocação de operadores e outros parâmetros relevantes, conforme ilustrado na imagem do *software* abaixo.

Figura 64 – Construção do Modelo Computacional 2D - Estudo



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos Arquivos da Empresa, 2024.

## **2.2 Verificação do modelo computacional:**

Nesta etapa do estudo, foi realizada a verificação e validação do modelo computacional por meio da comparação entre os dados obtidos nas simulações e aqueles calculados pela Engenharia, bem como os coletados em medições práticas. O objetivo foi de garantir que o modelo represente com precisão os aspectos reais do *layout* e do processo produtivo, assegurando que a produção simulada esteja alinhada com a realizada na prática.

Durante a construção do modelo, foram identificadas inconsistências na representação do *layout*, o que é comum nesse tipo de desenvolvimento. Para solucionar esses problemas, foi necessário realizar diversos ciclos de revisão e ajustes até que o modelo alcançasse a fidelidade esperada em relação ao sistema real.

## **Fase 3: Análise**

### **3.1 Definição do projeto experimental:**

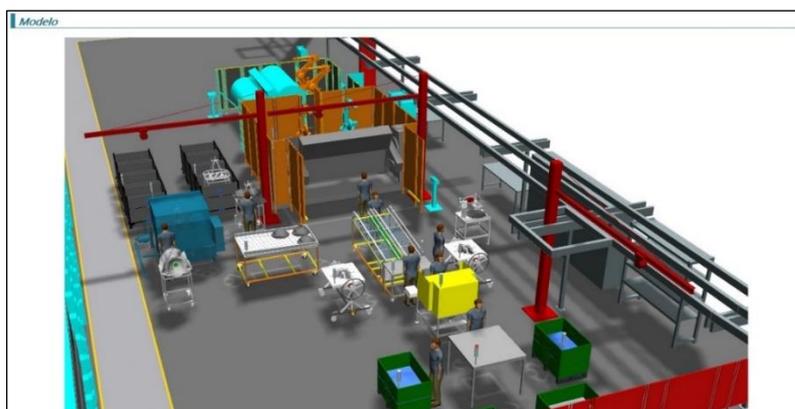
O objetivo da simulação é validar o *layout* proposto na etapa do *SLP*, verificando se ele é capaz de atender à demanda do cliente. Para isso, o *layout* foi modelado e submetido à simulação.

Atualmente, a demanda estimada do cliente é de 200 peças por dia. Considerando um incremento de 10%, necessário para absorver possíveis oscilações de mercado no futuro, espera-se que o *layout* seja capaz de atender a uma demanda de até 220 peças por dia sem muitas alterações.

### 3.2 Execução dos experimentos:

O cenário proposto foi simulado, e um relatório detalhado com os dados de saída foi construído e gerado diretamente na ferramenta utilizada. Este relatório apresenta as principais informações necessárias para análise conjunta com a equipe de gestão da linha de produção. A imagem abaixo ilustra o modelo 3D desenvolvido, já em execução durante uma rodada de simulação, proporcionando uma visão clara do comportamento do sistema avaliado.

Figura 65 – Modelo Computacional 3D durante a simulação - Estudo



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos Arquivos da Empresa, 2024.

O cenário de *layout* simulado no modelo operacional gera uma série de dados relevantes, como tempos de ciclo, taxas de utilização de recursos, distâncias percorridas, entre outras informações operacionais. Esses dados serão apresentados de forma resumida no tópico seguinte, assegurando que informações confidenciais sejam preservadas.

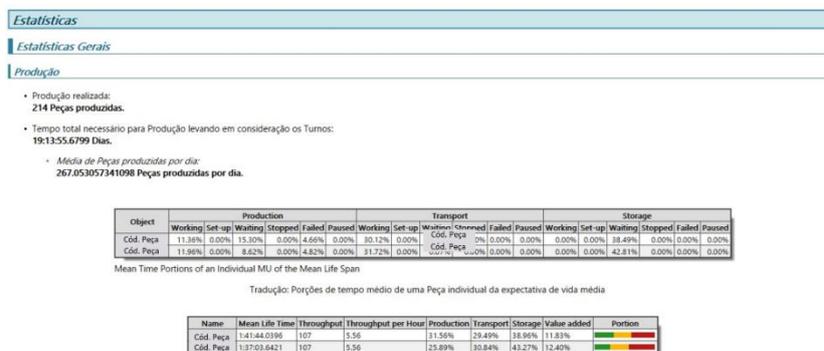
### 3.3 Análise estatística:

A análise estatística desempenha um papel fundamental nas fases de simulação de um *layout*, sendo essencial para a interpretação dos resultados e a tomada de decisões com base em dados confiáveis.

Os resultados da simulação indicam uma produção de 214 peças para os dois turnos de produção, levando em consideração os intervalos. Esses dados são fundamentais para avaliar a capacidade do sistema produtivo e identificar gargalos ou oportunidades de melhoria. Além disso, métricas como o tempo médio de vida útil

(*Mean Life Time*) de cada peça e os percentuais de tempo gasto em produção, transporte e armazenamento fornecem *insights* sobre o desempenho geral, conforme imagem abaixo.

Figura 66 – Relatório de Simulação Produção - Estudo



Cidade - Rio Grande do Sul, 10.1.2025

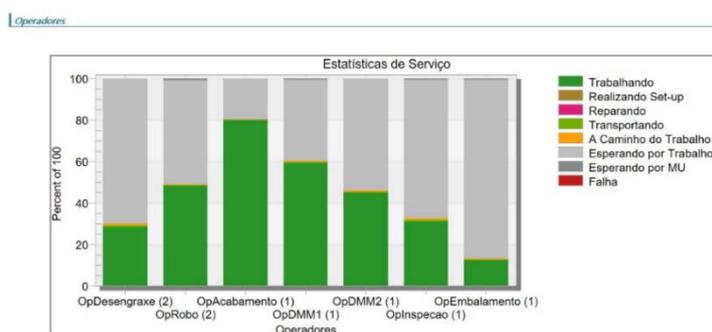
Augusto Plack

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos Arquivos da Empresa, 2024.

As estatísticas de serviço dos operadores destacam a proporção de tempo dedicada a diferentes atividades, como trabalhar, realizar *set-up*, transportar e esperar por trabalho ou materiais, conforme imagem abaixo, observa-se oportunidades de melhoria.

Embora essas oportunidades não tenham sido exploradas neste trabalho, poderiam ser consideradas com base no estudo de Frigotto et al. (2020), que apresenta um caso aplicado de balanceamento de mão de obra em uma empresa do setor metalmeccânico. Nesse estudo, a utilização da simulação permitiu identificar que o número total de operadores era suficiente para atender à demanda. No entanto, foram detectados pontos de desequilíbrio entre os postos de trabalho, onde algumas estações apresentavam excesso de funcionários, enquanto outras sofriam com a falta de mão de obra.

Figura 67 – Relatório de Simulação Operadores - Estudo



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos Arquivos da Empresa, 2024.

Além disso, as informações sobre as distâncias percorridas pelos operadores durante um dia de produção foram analisadas. Observa-se que operadores como o do Desengraxe e o do Acabamento percorrem distâncias significativas, o que indica uma oportunidade de otimização futura do *layout*, essa oportunidade de melhoria está alinhada com o trabalho de Biscotto (2008), que demonstrou, por meio de resultados obtidos a partir da simulação computacional, a possibilidade de identificar oportunidades significativas de aprimoramento no sistema produtivo de uma indústria automotiva.

Figura 68 – Relatório de Simulação Distâncias Percorridas - Estudo

• Distância percorrida pelos Operadores durante a simulação:

Object	Traveled Distance
...Is.Operadores.OpDesengraxe:1	2050.88m
...Is.Operadores.OpDesengraxe:2	1000.84m
.Models.Operadores.OpRobo:1	882.55m
.Models.Operadores.OpRobo:2	923.30m
...Is.Operadores.OpAcabamento:1	138.72m
.Models.Operadores.OpDMM1:1	1267.36m
.Models.Operadores.OpDMM2:1	1583.91m
.Models.Operadores.Opinspecao:1	1633.71m
...s.Operadores.OpEmbalamento:1	896.21m

Traveled Distance by Workers

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos Arquivos da Empresa, 2024.

Os turnos de produção, os intervalos para almoço e os dias de operação também são considerados como dados de entrada e são apresentados no relatório da simulação, destacados na imagem a seguir.

Figura 69 – Relatório de Simulação Turnos - Estudo

**Estatísticas de Saída**

**Turnos de Produção**

Shift	From	To	Mo	Tu	We	Th	Fr	Sa	Su	Pauses
Shift-1	6:00	15:48	●	●	●	●	●			11:00-12:00
Shift-2	15:48	1:12	●	●	●	●				19:00-20:00

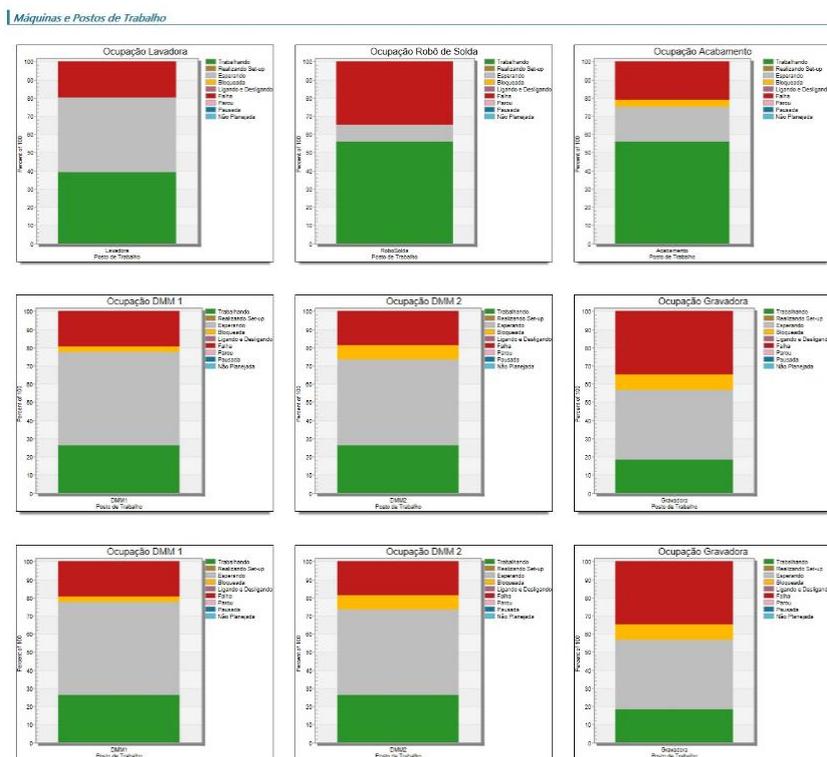
Foram considerados 2 Turnos de Trabalho para o Modelo, com intervalos:

- 11:00 às 12:00
- 19:00 às 20:00

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos Arquivos da Empresa, 2024.

Os gráficos de ocupação das máquinas (ex: Lavadora, Robô de Solda, Acabamento) abaixo, evidenciam a utilização de cada posto de trabalho. Altos índices de espera e falhas em determinados equipamentos, como o Robô de Solda e a Gravadora, indicam pontos críticos que devem ser tratados para aumentar a produtividade e reduzir o tempo ocioso ou em falha.

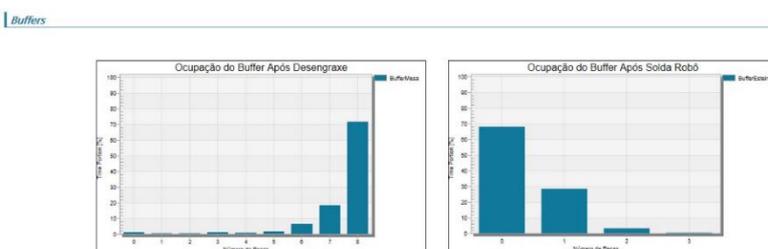
Figura 70 – Relatório de Simulação Utilização Postos - Estudo



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos Arquivos da Empresa, 2024.

Os gráficos de ocupação dos *buffers* mostram como os estoques intermediários são utilizados ao longo do processo, destacando áreas de possível congestionamento, como o *buffer* após o desengraxe (que acaba servindo de proteção para o gargalo - Robô), caso o presente trabalho aprofundasse a questão da calibração dos *buffers* e a aproximação de determinadas operações, ele poderia se alinhar aos resultados apresentados por Battissacco (2021). Nesse estudo, a simulação de diferentes cenários em células de manufatura demonstrou ser uma ferramenta eficaz para a redução do *lead time* de produção e o aumento da taxa de produção da célula. Esses achados reforçam a relevância de ajustes estratégicos na configuração dos *buffers* e no sequenciamento das operações como forma de melhorar a eficiência e a produtividade do sistema produtivo.

Figura 71 – Relatório de Simulação Buffers principais - Estudo

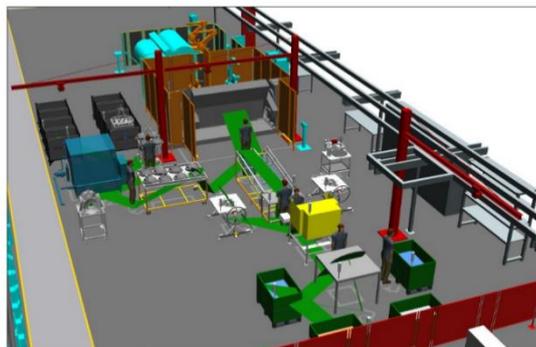


Fonte: Elaborado pelo autor com base nos Arquivos da Empresa, 2024.

Adicionalmente, os diagramas de fluxo (*Sankey*) ilustram o trajeto dos materiais no *layout* para dois códigos de peças, permitindo identificar de forma visual tal trajetória.

Figura 72 – Relatório de Simulação Diagrama de *Sankey* - Estudo

Informações de Produção:



Sankey Tampa do Barjo 1



Sankey Tampa do Barjo 2

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos Arquivos da Empresa, 2024.

Alguns dados de entrada, como a disponibilidade de cada equipamento e os tempos de ciclo definidos para o modelo são elementos críticos para a avaliação do desempenho. Equipamentos com baixa disponibilidade, como o Robô de Solda (65%), podem ser gargalos importantes, enquanto tempos de processos elevados em algumas etapas, como a Lavadora (8 minutos), podem impactar negativamente a fluidez do sistema.

Figura 73 – Relatório de Simulação Disponibilidades - Estudo

• Disponibilidade considerada para cada Equipamento (Entrada):

EQUIPAMENTO	DISPONIBILIDADE
Lavadora	80.00
RoboSolda	65.00
Acabamento	80.00
DMM1	80.00
DMM2	80.00
Estanqueidade	80.00
Gravadora	65.00
Inspecao	80.00
Embalamento1	80.00
Embalamento2	80.00

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos Arquivos da Empresa, 2024.

A análise estatística, ao integrar esses elementos, fornece uma visão abrangente do desempenho do *layout*, apoiando a identificação de áreas críticas e a definição de melhorias que promovam eficiência, produtividade e atuação para trabalhos futuros.

### **3.4 Conclusões e recomendações:**

A análise dos dados obtidos permite concluir que o *layout* proposto é capaz de atender à demanda de produção de 200 peças/dia, alcançando até 214 peças/dia sem a necessidade de aumento no número de colaboradores, turnos ou alterações nos postos de trabalho (como melhorias de processos, redução de tempos ou aumento da disponibilidade). Esse resultado indica uma capacidade de absorver um aumento de 7% na demanda do cliente, atingindo quase a meta de 10%, sem requerer investimentos adicionais.

Adicionalmente, o modelo de simulação demonstrou que, caso fosse necessário, a implementação de um 3º turno de produção possibilitaria alcançar uma produção aproximada de 267 peças/dia, utilizando o mesmo espaço físico e os mesmos recursos fabris.

Essas conclusões fornecem subsídios importantes para a tomada de decisão, ao considerar não apenas a eficiência do *layout* proposto, mas também os custos e a viabilidade de implementação. Além disso, o uso do modelo de simulação se destaca como uma ferramenta estratégica para testar futuras alterações ou melhorias no processo, minimizando riscos e evitando intervenções diretas na operação real antes de validar as mudanças planejadas.

A **segunda etapa da estrutura** identificou as principais informações necessárias como dados de entrada para a construção do modelo de simulação, incluindo Dados Técnicos, Dados Organizacionais e Dados de Produção. Todas essas informações, previamente mapeadas na estrutura, foram levantadas durante o processo de desenvolvimento do modelo. No entanto, para preservar a confidencialidade de dados sensíveis, este trabalho aborda apenas as informações relacionadas aos tempos de operação na etapa de modelagem dos dados de entrada.

Essa etapa, que reúne os dados pertinentes ao estudo de simulação, foi consolidada com base nos trabalhos de Bassanesi (2011) e Bangsow (2010). Ambos

os autores apresentam um exemplo aplicado ao planejamento da simulação de uma linha de soldagem de veículos utilitários.

Além de definir os dados de entrada com base na estrutura, foi possível determinar a camada de desenvolvimento da simulação. Optou-se por uma representação na camada Correspondente (3D), que oferece maior riqueza de detalhes, informações e animações. Essa abordagem não apenas facilitou a apresentação da simulação para a gestão da empresa, mas também tornou o modelo mais didático e compreensível, sendo capaz de fornecer informações quantitativas que auxiliam de forma mais precisa o processo de tomada de decisão.

A **terceira etapa da estrutura** foi concluída com a aplicação de uma sequência de perguntas organizadas, destinadas a esclarecer as principais dúvidas do profissional responsável pela construção do modelo computacional. Essa etapa atuou como um *checklist* sistemático, fornecendo suporte para facilitar e orientar o processo de modelagem (Arquivos da Empresa, 2024). Além disso, a sequência de questionamentos contribuiu para superar uma das principais barreiras na implementação dos modelos: a carência de dados confiáveis, esta etapa, aconteceu durante a construção do modelo computacional.

**Passo 1** - Definição se a simulação será Generalizada, Composta ou Correspondente (3D): Correspondente, 3D.

**Passo 2** - Produtos contemplados no modelo: Mapeados durante o *SLP*.

**Passo 3** - Demandas dos produtos: Mapeados durante o *SLP*.

**Passo 4** - Recursos a serem simulados: Processos e operadores definidos durante o *SLP*.

**Passo 5** - Tempos de processo: Mapeados durante o *SLP*.

**Passo 6** - Modelagem de 2ª Camada (*Layout*): Projetado e disponível nos arquivos da Empresa.

**Passo 7** - Modelagem de 3ª Camada (Recursos em 3D): Máquinas e postos de trabalho disponíveis em 3D nos arquivos da Empresa.

**Passo 8** - Análise de GBO (Gestão Baseada em Operações): Inclusa durante o processo de construção do modelo.

**Passo 9** - Dados para GBO: Dados disponíveis a partir da Engenharia e medições na prática.

**Passo 10** - Análise de GBM (Gestão Baseada em Manutenção): Nesta etapa, foram analisadas as disponibilidades gerais dos equipamentos, considerando a capacidade operacional de cada um para garantir que o modelo de simulação reflita a realidade do sistema produtivo.

**Passo 11** - Dados para GBM contemplando falhas: Devido à ausência de medições precisas relacionadas aos tempos de falha dos equipamentos (tempo de reparo, etc), optou-se por não incluir esses dados no modelo. No entanto, foram consideradas as informações gerais sobre a porcentagem de disponibilidade dos equipamentos, garantindo uma visão ampla da eficiência do sistema.

**Passo 12** - Dados de turnos e pausas: As informações referentes aos turnos e pausas na linha de produção foram integralmente incorporadas ao modelo, refletindo com fidelidade as práticas operacionais adotadas na produção.

Além disso, durante o desenvolvimento do estudo de *layout* e simulação na empresa em questão, o método proposto por Schmidt (2019) foi utilizado com pequenas adaptações para atender às especificidades do processo produtivo da empresa e integrar-se com o restante da estrutura de simulação. Esse método serviu como base fundamental para orientar as etapas de análise e melhoria, garantindo que as práticas fossem consistentes e alinhadas às necessidades do ambiente produtivo.

O método de Schmidt (2019), que já havia sido validado em implementações anteriores, foi estruturado em quatro etapas principais, alinhadas ao ciclo PDCA (Planejar, Fazer, Checar, Agir), e demonstrou-se particularmente eficaz na integração de metodologias amplamente aplicadas na Engenharia de Produção com ferramentas de simulação. Sua aplicação permitiu o mapeamento, construção e consolidação de processos produtivos, promovendo melhorias significativas.

Ao longo de sua implementação, esse método provou ser um guia essencial para estruturar e operacionalizar as etapas do estudo de *layout*, simulação e gestão do processo, permitindo não apenas a melhoria destes processos produtivos, mas também a criação de uma base sólida para um sistema de produção próprio, auxiliando na tomada de decisões estratégicas na indústria automotiva.

Durante o estudo, a **última etapa da estrutura**, referente às boas práticas para a gestão de modelos de simulação foram utilizadas de forma estruturada, permitindo integrar princípios fundamentais ao desenvolvimento e utilização dos

modelos na empresa. As etapas abaixo destacam como essas práticas contribuíram para os resultados obtidos, possibilitando realizar a simulação de um fluxo produtivo, a partir de um *Layout Planejado Sistematicamente*.

Tais etapas foram fundamentadas no trabalho de Goldmeyer (2012) e reforçam os conceitos apresentados pelo autor, que classifica esses *macroconstructos* dentro de uma estrutura teórica destinada a auxiliar na organização e sistematização do uso da simulação dentro das organizações.

#### **Banco de Dados Confiável:**

A construção do modelo de simulação baseou-se em dados de entrada precisos, completos e atualizados. Um banco de dados bem gerido foi essencial para garantir a qualidade dos resultados, reduzindo riscos de inconsistências e otimizando os processos de modelagem e tomada de decisão. A coleta e validação dos dados seguiram rigorosos critérios metodológicos já adotados dentro da Empresa, assegurando confiabilidade e relevância para o contexto produtivo.

#### **Gestão e Cultura Organizacional:**

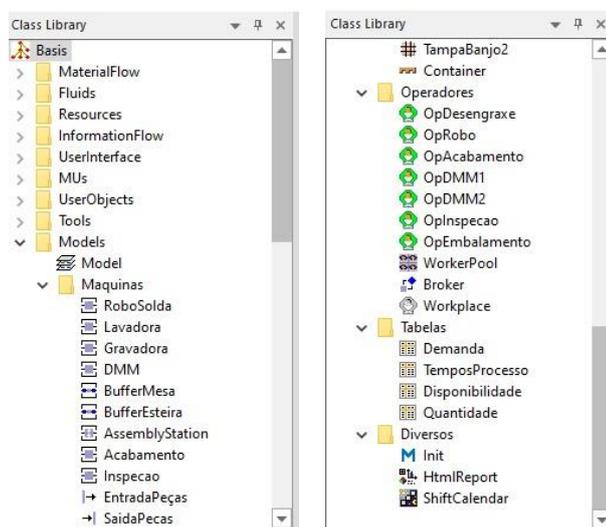
Durante a construção do modelo de simulação, não foi possível promover e disseminar o conhecimento adquirido de maneira abrangente entre os profissionais da organização. Contudo, para as próximas simulações planejadas, será dado um enfoque maior ao desenvolvimento de competências técnicas de um número maior de colaboradores, garantindo que a prática de simulação seja ampliada e incorporada no dia a dia da empresa. Neste estudo específico, foi envolvida a liderança e a coordenação da linha de produção simulada, o que auxiliou significativamente no processo, maximizando as oportunidades identificadas e reforçando o potencial estratégico dessa ferramenta.

#### **Ciclo de Vida do Modelo e Padronização:**

O modelo de simulação foi acompanhado ao longo de seu ciclo de vida, sendo revisados e atualizados continuamente para refletir mudanças no processo produtivo realizada na prática. A elaboração de manuais e documentação com as informações importantes do modelo, assegurou que o conhecimento gerado durante a construção dele, fosse preservado e acessível, permitindo replicação e adaptações futuras, mesmo que por outros colaboradores com experiência no *software*. Políticas de padronização foram implementadas para manter uniformidade nos processos de modelagem e documentação, desde os nomes dos arquivos com suas respectivas

revisões, até a estrutura de tabelas, dados e objetos dentro do *software*, conforme pode se observar nas figuras abaixo.

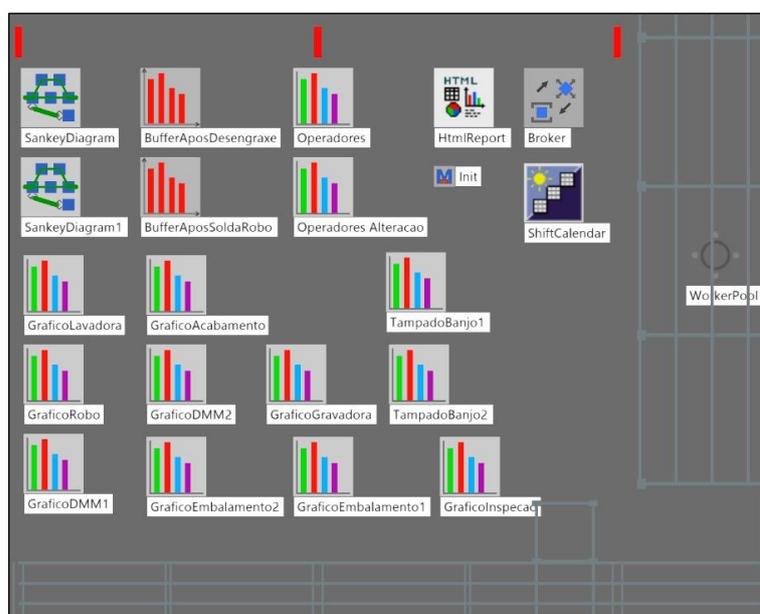
Figura 74 – Estrutura dos Objetos dentro do Software - Estudo



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos Arquivos da Empresa, 2024.

Além disso, buscou-se padronizar os objetos responsáveis pelos elementos exibidos nos relatórios de resultados da simulação, bem como a nomenclatura das revisões dos arquivos do modelo de simulação, conforme ilustrado nas imagens a seguir (figura 75 e 76).

Figura 75 – Organização dos objetos para o relatório - Estudo



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos Arquivos da Empresa, 2024.

Figura 76 – Nomenclatura do arquivo de simulação - Estudo

	Simulação Tampa do Banjo_Rev60	27/11/2024 09:26	Plant Simulation ...	24.724 KB
	Simulação Tampa do Banjo_Rev60.spp.bak	27/11/2024 09:21	Arquivo BAK	24.724 KB
	Simulação Tampa do Banjo_Rev60-HtmlReport	08/01/2025 15:21	Chrome HTML Do...	1.584 KB

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos Arquivos da Empresa, 2024.

### Capacitação Técnica e Treinamentos:

O responsável pela construção do modelo possui treinamento específico para desenvolver competências em estatística, modelagem, e ferramentas computacionais, assegurando capacidade técnica para construir modelos precisos e interpretar resultados. O conhecimento detalhado dos processos produtivos da empresa foi integrado à modelagem, garantindo a aderência dos modelos às particularidades operacionais. Além disso, com o objetivo de capacitar novos usuários na utilização do *software*, o autor elaborou um Manual de Treinamento Básico, que apresenta os primeiros passos para a construção de modelos de simulação. Este material será disponibilizado no banco de treinamentos da empresa, conforme ilustrado na capa do treinamento apresentada a seguir.

Figura 77 – Manual Básico de Treinamento para Simulação



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

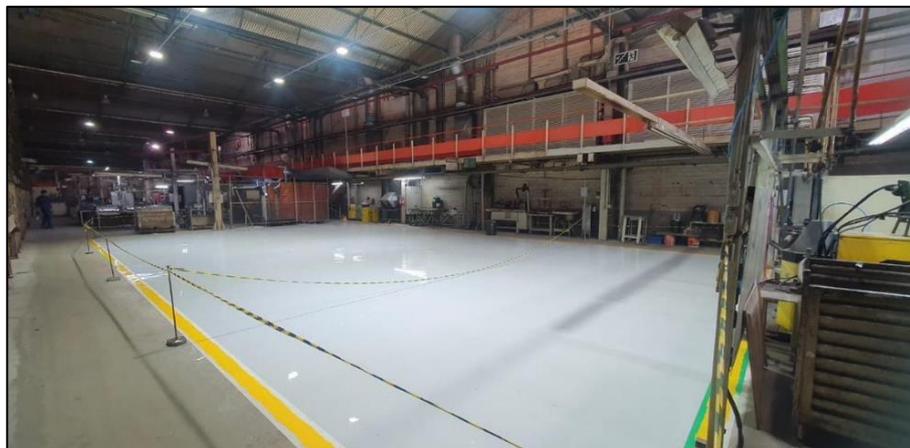
Essas práticas criaram uma base robusta para o uso da simulação no apoio à tomada de decisões estratégicas e operacionais, especialmente neste setor automotivo. A utilização das boas práticas demonstrou como o alinhamento de dados

confiáveis, gestão eficiente, cultura organizacional, e capacitação técnica podem maximizar os benefícios da simulação.

Após o estudo do planejamento de *layout* e simulação, foi possível avançar para a etapa de implementação do mesmo, que será descrita de forma breve, abaixo. Essa fase teve como objetivo colocar em prática as alterações propostas no *layout* produtivo, utilizando os dados e análises obtidos durante as etapas anteriores do projeto. A implementação foi dividida em passos bem definidos para garantir a eficácia e a minimização de impactos no processo produtivo.

O primeiro passo consistiu na implementação do novo *layout* aprovado, com a instalação de equipamentos e áreas de trabalho de acordo com o plano detalhado. Nessa etapa, foi essencial contar com o apoio das equipes de gestão de projetos, engenharia de processos, infraestrutura e manutenção para assegurar que as instalações ocorressem de forma segura e eficiente, respeitando o cronograma estabelecido. A imagem abaixo ilustra o processo de preparação do piso e espaço disponibilizado para instalação da Linha de Produção.

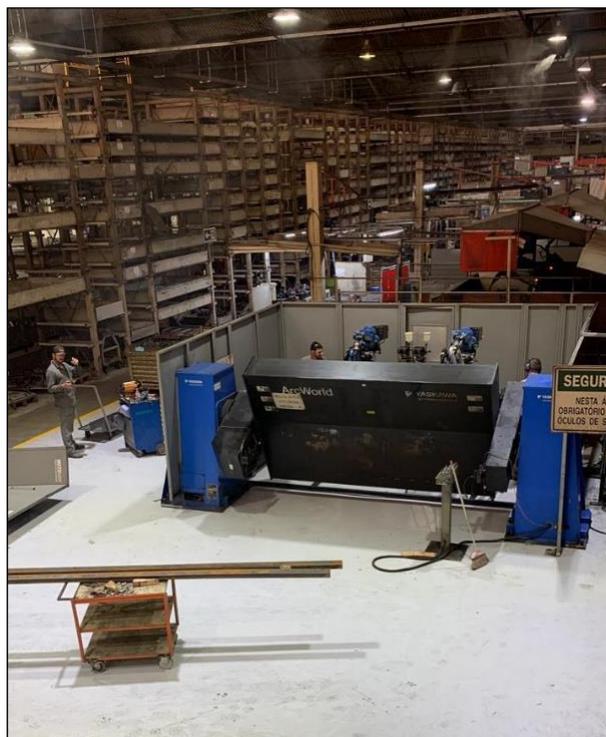
Figura 78 – Preparação da área fabril para instalação da Linha de Produção



Fonte: Arquivos da Empresa, 2024.

Concluída a preparação do espaço fabril, deu-se início à instalação das infraestruturas necessárias, como sistemas de gases, elétrica, ar comprimido e outros, visando a posterior instalação das máquinas e equipamentos destinados à manufatura do item em questão, conforme ilustrado na imagem a seguir o andamento deste trabalho.

Figura 79 – Instalações de Infraestrutura



Fonte: Arquivos da Empresa, 2024.

A seguir, apresenta-se a imagem das primeiras infraestruturas instaladas no espaço destinado à linha de produção, antes do posicionamento final dos equipamentos.

Figura 80 – Instalações de Infraestrutura e meios de produção



Fonte: Arquivos da Empresa, 2024.

A seguir, apresenta-se a imagem referente aos primeiros testes do processo de solda realizados no robô.

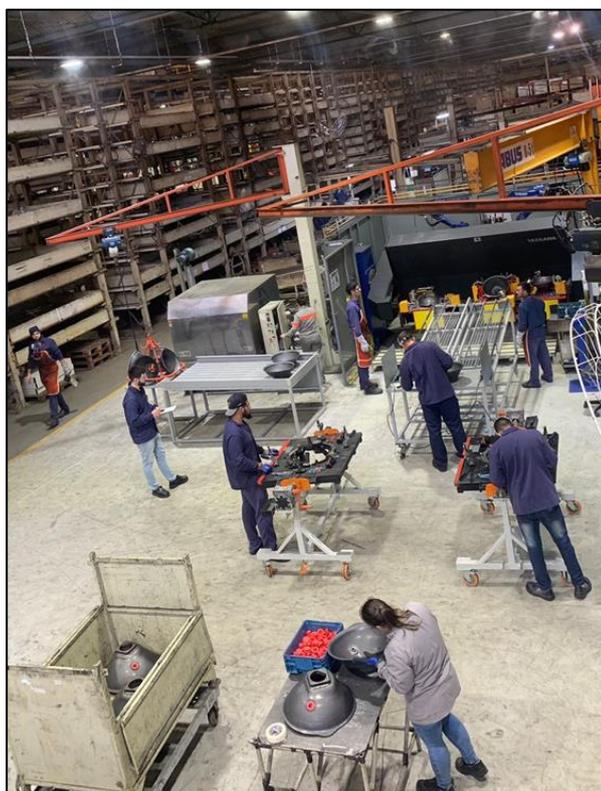
Figura 81 – Primeiros testes no robô



Fonte: Arquivos da Empresa, 2024.

Na sequência, a fase de validação prática foi iniciada, durante a qual o novo *layout* foi testado em operação controlada por um período específico. Esse período permitiu monitorar os resultados obtidos, identificar possíveis problemas ou ajustes necessários e treinar os operadores para se adaptarem à nova configuração. A imagem a seguir mostra o *layout* em operação inicial, destacando os fluxos revisados e os principais pontos de validação.

Figura 82 – Primeiros testes de produção



Fonte: Arquivos da Empresa, 2024.

Por fim, com os ajustes implementados e os resultados validados, o novo *layout* foi oficializado e incorporado ao processo produtivo. A melhoria resultante da aplicação foi evidente, promovendo uma melhor utilização do espaço disponível. Essa experiência reforça a importância de integrar planejamento, simulação e execução de forma estruturada, permitindo ganhos significativos para a empresa. Abaixo, é possível observar uma imagem das primeiras peças obtidas após todo desenvolvimento.

Figura 83 – Primeiras peças fabricadas



Fonte: Arquivos da Empresa, 2024.

Essas etapas demonstram a viabilidade e os benefícios práticos de um projeto bem estruturado de planejamento de *layout* e simulação, servindo como referência para iniciativas futuras na busca pela excelência operacional dentro da Empresa em questão.

Apesar de alcançar o objetivo principal de identificar e estruturar processos para o planejamento sistemático de *layout* e a simulação de eventos discretos, o trabalho apresenta algumas limitações que devem ser reconhecidas:

- Análise Limitada dos Dados de Simulação:

Embora a simulação tenha sido utilizada como ferramenta central, o estudo não se aprofundou na análise detalhada dos dados obtidos. Isso incluiu a ausência de comparações robustas entre diferentes propostas de *layout*. A falta de exploração de alternativas pode ter limitado o potencial de identificar soluções ainda melhores para o *layout* produtivo.

- Enfoque Reduzido na Implementação Prática do *Layout*:

A implementação prática do *layout* foi abordada de maneira mais sucinta, deixando lacunas sobre como as mudanças propostas poderiam ser operacionalizadas na empresa. A ausência de um plano de implementação mais

detalhado, com etapas, cronograma, e possíveis desafios, reduz a aplicabilidade direta do estudo em empresas com um menor nível de maturidade.

- Desconsideração dos Aspectos Financeiros:

O trabalho não incluiu uma análise sobre os investimentos necessários para a execução do *layout* proposto. Questões como custos de implementação, aquisição de equipamentos, e impacto financeiro no curto e longo prazo não foram exploradas.

- Confidencialidade dos Dados:

Uma limitação importante deste estudo é a impossibilidade de aprofundar na apresentação de dados específicos da empresa devido à necessidade de preservar a confidencialidade das informações estratégicas. Detalhes sobre volumes de produção, custos operacionais, fluxos detalhados e outras métricas relevantes foram abordados de forma genérica, evitando a exposição de informações sensíveis. Essa abordagem foi necessária para atender aos acordos de confidencialidade estabelecidos com a empresa, mas pode restringir a replicação exata do estudo por outras organizações ou pesquisadores.

Apesar das fragilidades mencionadas, o trabalho conseguiu atingir um objetivo importante: identificar e estruturar as bases para o planejamento sistemático de *layout* e a simulação de eventos discretos. Este é um passo significativo para a implementação da metodologia e ferramenta na empresa estudada, oferecendo um guia claro e organizado para o uso futuro dessas práticas.

Embora reconheça as limitações, o estudo abre portas para novas pesquisas que possam complementar os pontos não explorados, como a análise comparativa de *layouts*, otimização, a implementação prática e os aspectos financeiros. Esses temas podem ser desdobrados em estudos futuros, agregando ainda mais valor à área de pesquisa e à empresa estudada.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo apresenta a finalização deste estudo, abordando a questão de pesquisa, os objetivos estabelecidos, os principais resultados obtidos e as limitações identificadas.

O objetivo geral deste trabalho foi identificar as estruturas que auxiliam no processo de planejamento sistemático de *layout* e simulação de eventos discretos, englobando conceitos fundamentais da engenharia de produção dentro da indústria de transformação automotiva. Esse objetivo foi atingido por meio do desenvolvimento de um estudo detalhado, que demonstrou a viabilidade e as contribuições dessa abordagem para melhorar processos e fluxos produtivos, reduzindo impactos negativos da não utilização da simulação no processo de planejamento de *layout*.

Este estudo destacou-se por integrar as metodologias do SLP e da simulação de eventos discretos, proporcionando um agrupamento de estruturas para o projeto de novos *layouts* produtivos. A aplicação dessas ferramentas permitiu identificar etapas críticas, avaliar cenários e propor melhorias adaptadas às especificidades da indústria automotiva, atendendo às demandas de flexibilidade e eficiência operacional.

No que tange aos objetivos específicos, o trabalho buscou identificar as melhores práticas do processo do Planejamento Sistemático de *Layout*. Esse objetivo foi atingido por meio de uma revisão de literatura abrangente e da aplicação do SLP no estudo. Também se buscou identificar as melhores práticas do processo de simulação de *layouts* produtivos, alcançado através de análise bibliográfica e modelagem, que evidenciaram práticas relevantes para a construção de modelos robustos e confiáveis.

Além disso, foi possível estabelecer o relacionamento entre os objetivos da simulação e os elementos necessários para o projeto de novos *layouts*, integrando o SLP e a simulação de maneira estruturada e compreendendo como os objetivos de eficiência operacional podem ser alinhados aos requisitos do *layout*. Por fim, avaliou-se a contribuição das estruturas identificadas no auxílio ao processo de projeto e simulação de *layout* em uma indústria metalmeccânica de autopeças, com soluções eficazes para resolver problemas complexos, alinhando teoria e prática.

As limitações deste trabalho aplicam-se a fluxos produtivos diferentes dos analisados, com maior complexidade ou em áreas de atuação fora do segmento automotivo. Além disso, não se aprofundou na análise dos dados gerados pelo modelo e na etapa de implementação. Grande parte dos dados utilizados no estudo não pôde ser divulgada por serem sigilosos, o que restringiu a apresentação de detalhes específicos e limita a reprodução direta dos resultados obtidos.

Outro ponto é que a análise econômica e financeira das soluções não foi explorada em profundidade, representando uma área de oportunidade para pesquisas futuras.

Recomenda-se para trabalhos futuros expandir a aplicação do estudo para um maior número de células de produção, abrangendo fluxos produtivos com diferentes níveis de complexidade. Além disso, sugere-se a criação de novos artefatos que possam ser generalizados para outras indústrias do segmento, a inclusão de elementos adicionais da Indústria 4.0 e o desenvolvimento de ferramentas de análise financeira, considerando os aspectos econômicos dos investimentos em mudanças de *layout*.

Outra sugestão de trabalho futuro é o desenvolvimento de uma abordagem automatizada para o SLP, integrando técnicas de otimização com simulação. Esse processo poderia envolver a validação do *layout* gerado pela otimização por meio de simulação, criando um ciclo iterativo em que a simulação retroalimenta o otimizador. Dessa forma, seria possível alternar entre otimização e simulação para alcançar um *layout* ideal, que atenda às restrições físicas e minimize os gargalos do sistema produtivo.

Por fim, destaca-se a importância do planejamento sistemático de *layout* e da posterior simulação como ferramentas estratégicas para a indústria, permitindo a validação de alternativas de *layout* em um ambiente virtual antes de qualquer implementação. A integração dessas práticas não apenas melhora a eficiência operacional, mas também oferece subsídios para tomadas de decisões baseadas em dados.

Assim, espera-se que este trabalho inspire novas iniciativas voltadas ao aperfeiçoamento dos processos produtivos, contribuindo para o desenvolvimento acadêmico e empresarial.

## 5.1 PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES

Por fim, destacam-se as principais contribuições da pesquisa. Este trabalho contribuiu para a literatura ao explorar a interseção entre Planejamento Sistemático de *Layout* e Simulação de Eventos Discretos, áreas que, apesar de amplamente estudadas separadamente, apresentam poucos trabalhos que as integram de forma estruturada. A pesquisa forneceu uma abordagem metodológica detalhada para a aplicação conjunta dessas ferramentas, permitindo uma análise mais profunda das etapas críticas e dos impactos da simulação na definição do *layout* produtivo.

Além disso, a revisão da literatura identificou lacunas na pesquisa e contribuiu para a ampliação do conhecimento sobre a aplicação dessas metodologias no setor automotivo. Os resultados deste estudo também podem servir como base para futuras pesquisas que busquem desenvolver metodologias aprimoradas para a integração entre *layout* e simulação.

Alinhado a estes pontos, o estudo também propôs estruturas específicas para determinadas etapas do estudo de simulação, baseadas na compilação de diversos autores e na experiência prática do autor. Dentre essas contribuições, destacam-se:

- A criação de uma estrutura clara que identifica as principais informações que devem ser levantadas como dados de entrada para a construção do modelo de simulação, para contribuir na literatura.
- A estruturação de uma sequência de perguntas organizadas para esclarecer as principais dúvidas do profissional responsável pela modelagem computacional. Esse *checklist* sistemático auxilia para que todas as informações necessárias estejam disponíveis e sejam confiáveis antes do desenvolvimento e validação do modelo.
- A elaboração de uma figura baseada na Revisão Sistemática da Literatura (RSL) e na experiência prática industrial, sintetizando os principais tópicos relacionados às boas práticas no gerenciamento de modelos de simulação.

No âmbito empresarial, o estudo proporcionou um conjunto de artefatos, metodologias e ferramentas que auxiliam no processo de planejamento e simulação de *layout* em empresas do setor metalmeccânico automotivo. A aplicação prática dessas metodologias demonstrou como a integração entre SLP e simulação pode melhorar a tomada de decisões estratégicas relacionadas ao *layout* produtivo,

aumentando a eficiência operacional e reduzindo desperdícios ou até mesmo decisões equivocadas.

Além disso, o trabalho trouxe *insights* valiosos sobre como a simulação pode ser usada como uma ferramenta preditiva para avaliar diferentes cenários antes da implementação de mudanças físicas no *layout*. A proposta metodológica pode ser replicada em outras indústrias, contribuindo para a disseminação de boas práticas de gestão de *layout*, simulação e inovação tecnológica no setor industrial.

## REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, André Felipe de. **A perspectiva da gestão da qualidade total (GQT) como modo de controle organizacional**. Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Caderno de Administração, Maringá, v.28, n.2, jul-dez, 2020.

ALBUQUERQUE, Vitor Baluz Saboya. **Gestão de Resíduos Eletroeletrônicos: a cadeia de reciclagem na cidade do Rio de Janeiro**. 2013. 153f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental, Pontífia Universidade Católica do Rio (PUC-Rio), Rio de Janeiro, 2013.

ALCÁCER, V.; CRUZ-MACHADO, V. **Scanning the Industry 4.0: A Literature Review on Technologies for Manufacturing Systems**. Engineering Science and Technology, an International Journal, [S. l.], v. 22, n. 3, p. 899–919, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jestch.2019.01.006>>, 2019.

ALMEIDA, M. S. et. al. **Utilização da simulação em ARENA 7.0 no auxílio ao balanceamento da célula de montagem de uma fábrica de calçados**. XXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP, 2006.

ALVES, F. J. B. P.; AQUINO, P. V. B.; SILVA, L. H. F. **Estudo da reestruturação do arranjo físico em uma indústria alimentícia do segmento de biscoitos artesanais em Maceió, Brasil**. Engineering Sciences, Aquidabã, v. 1, n. 1, p. 1-7, ago./dez. 2012, jan, 2015.

ALVES, Raphaelly Antunes; PAULISTA, Paulo Henrique. **Estrutura de modelagem e simulação utilizando o software promodel: uma abordagem teórica**. Anais do V Simpósio de Engenharia de Produção - SIMEP 2017 - ISSN: 2318-9258 – 2983, 2017.

AMARAL, João Victor Soares do. **Otimização Baseada em Metamodelos: Uma Abordagem para Metamodelagem em Simulação a Eventos Discretos**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Itajubá, fevereiro de 2021.

AMARAL: André Gargioni. **Otimização de processos industriais com simulação digital**. Certi Insights, 2022. Disponível em: <<https://certi.org.br/blog/otimizacao-de-processos-industriais/>>. Acesso em: 21 de dezembro, 2022.

ANDRADE, J. H. DE; FERNANDES, F. C. F. **Barreiras e desafios para melhoria da integração interfuncional entre Desenvolvimento de Produto e Planejamento e Controle da Produção em ambiente *Engineering-to-Order***. Gestão & Produção, v. 25, n. 3, p. 610-625, 2015.

ANFAVEA, Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. **Anuário da Indústria Automobilística Brasileira 2020**. Avenida Indianópolis, 496. São Paulo-S. Brasil, 2020.

ANTUNES JR., J. A. V. **Em direção a uma teoria geral do processo na administração da produção: uma discussão sobre a possibilidade de unificação da teoria das restrições e da teoria que sustenta a criação dos sistemas de produção com estoque zero**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.

ANTUNES, J.; ALVAREZ, R.; PELLEGRIN, I. d.; KLIPPEL, M.; BORTOLOTTI, P. **Sistemas de Produção: conceitos e práticas para projetos e gestão da produção enxuta**. 1. ed. Bookman, 2008.

ANTUNES, Junico; FURTADO, João; HORN, Carlos Henrique; MALDANER, Luís Felipe. **Desafios Da Política Industrial No Brasil – Para 2023 E Depois**. São Paulo e Porto Alegre. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Carlos-Horn/publication/362163585\\_Desafios\\_da\\_Politica\\_Industrial\\_no\\_Brasil\\_-\\_para\\_2023\\_e\\_depois/links/62d99681aa5823729ed3fec5/Desafios-da-Politica-Industrial-no-Brasil-para-2023-e-depois.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Carlos-Horn/publication/362163585_Desafios_da_Politica_Industrial_no_Brasil_-_para_2023_e_depois/links/62d99681aa5823729ed3fec5/Desafios-da-Politica-Industrial-no-Brasil-para-2023-e-depois.pdf)> julho de 2022.

ARAUJO, Larissa Garcia Sansoni. **Aplicações Computacionais Na Metalurgia**. Universidade Federal De São Carlos Centro De Ciências Exatas E De Tecnologia Departamento De Engenharia De Materiais. SÃO CARLOS – SP, 2023.

ARQUIVOS DA EMPRESA. **Nossa História**. 2024. Disponível no site da Empresa. Acesso em: 12 set. 2024.

ASSUNPÇÃO, Lucas Eggers; JACOBS, William. **Estudo comparativo entre layouts sob a ótica da Teoria das Restrições com apoio da simulação computacional de eventos discretos em Empresa de alimentos**. Revista Produção Online - ABEPRO. Florianópolis, SC, v. 19, n. 1, p. 152-178, 2019.

BANGSOW, Steffen. **Manufacturing Simulation with Plant Simulation and Simtalk**. Springer Berlin 1 ed., Heidelberg: 17 May, 2010.

BANKS, J. et al. **Discrete event system simulation**. [S.I.]: Pearson Education India, 2005.

BANKS, J. **Handbook of simulation: Principles, Methodology, Advances, Applications and Practice**. <<https://doi.org/10.1002/9780470172445>>. New York: John Wiley & Sons Inc, 1998.

BANKS, J. **Introduction to Simulation**. Winter Simulation Conference, 2000. p. 9-16.

BANKS, Jerry. **Discrete-Event System Simulation**. Prentice Hall; 5th ed. 1, junho, 2009.

BAPTISTA, Everton Luiz. **Melhoria de *layout* utilizando metodologia SLP em uma metalúrgica de implementos agrícolas na fabricação de um eixo de transmissão.** Centro Universitário Cesuca – CESUCA (Engenharia de Produção – Trabalho de Conclusão de Curso), 2022.

BARBIERI, João Paulo; BERNARDO, Matheus Murno; PINHO, Alexandre Ferreira de; MONTEVECHI, José Arnaldo Barra; SAVIA, Tiago Dela. **Análise Comparativa Da Complexidade De Modelos De Simulação.** Anais Do Simpósio Brasileiro De Pesquisa Operacional, 2018, Rio de Janeiro. Anais eletrônicos. Campinas, Galoá, 2018.

BARBOSA, Eduardo da Silva; CARDOSO, Rafael Pais; LIMA, Tainá da Silva. **PSI-UFRJ: simulações computacionais alinhadas à BNCC para o ensino básico.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciência da Computação) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Computação, Bacharel em Ciência da Computação, 2022.

BASSANESI, Marcelo Saccaro. **Planejamento e simulação de uma linha de soldagem de veículos utilitários.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Curso de Engenharia de Produção, 2011.

BATEMAN, R. et. al. **Sistemas de simulação: aprimorando processos de logística, serviços e manufatura.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

BATTISSACCO, Bruna Christina. **Aplicação da simulação a eventos discretos para um estudo de caso sob a ótica da gestão da produção de células de manufatura.** Bruna Christina Battissacco; orientador Walther Azzolini Júnior 2021. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção e Área de Concentração em Processos e Gestão de Operações – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2021.

BENETTI, Vanderlei Giovani. **Smart PDP: Processo de desenvolvimento de produtos da indústria de autopeças no contexto da indústria 4.0 / VANDERLEI GIOVANI BENETTI — 2021.** 136 f. Dissertação (Mestrado) — Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, São Leopoldo – RS, 2021.

BISCOTTO, Bernardo De Almeida. **A Simulação de Eventos Discretos em uma Indústria Automotiva** [Minas Gerais, 2008] VIII, 51 p. 29,7cm (EPD/UFJF, Graduação, Engenharia de Produção, 2008) Monografia – Universidade Federal de Juiz de Fora, Departamento de Engenharia de Produção, 2008.

BOBLITZ, G. **Simulation eliminates need for na \$80,000 machine and conveyor investment.** Industrial Engineering, v. 23, n. 3, p. 26-28, 1991.

BORDÓN, Jade de Souza. **Integração Do Planejamento Sistemático De *Layout*, Do Pensamento Enxuto E Da Simulação A Eventos Discretos Para O Projeto Do *Layout* De Um Pronto Atendimento Hospitalar.** Universidade Federal De

Itajubá Programa De Pós-Graduação Em Engenharia De Produção. Itajubá, fevereiro de 2021.

BORELLI, Aline. **Análise de viabilidade de adaptação de uma linha de produção de acabamentos em uma empresa metal mecânica**. Engenharia de Produção - Cruzeiro do Sul Educacional. Centro Universitário da Serra Gaúcha – FSG, 2021.

BORGES, Fabrício Quadros. **Layout**. Revista Lato & Sensus (on line), v. 2, n. 4, dez, 2001. Disponível em: <[http://www.nead.unama.br/site/bibdigital/pdf/artigos\\_revistas/62.pdf](http://www.nead.unama.br/site/bibdigital/pdf/artigos_revistas/62.pdf)>, 2001.

BORGES, W.J.; MOURA, C.R.; MEINCHEIM, E.; CARLINI, G.C.; OLIVEIRA, L. **Aplicação do Método SLP no desenvolvimento de um layout otimizado em uma empresa têxtil**. ScientiaTec: Revista de Educação, Ciência e Tecnologia do IFRS, v.6, n.2, p: 16-35, 2019.

BÖSENBERG, D.; METZEN, H. Lean management: vorsprung durch schlanke konzepte. In: CLARKE, C. (Ed.). **Automotive Production Systems and Standardisation: from ford to the case of mercedes-benz**. Springer Science & Business Media, 2005. p. 12.

BRITO, Gabriella Lopes de; MONTESCO, Richard Andres Estombelo; VASCONCELOS, Cleiton Rodrigues; SANTOS, Rosa Danyelle Lima dos. **Proposta de melhoria de layout visando a melhora do processo produtivo em uma empresa de estofados**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO - ENEGEP, 36, 2016, João Pessoa. Anais eletrônicos. João Pessoa: Associação Brasileira de Engenharia de Produção – ABEPRO, 2016.

BUENO, Carlos Renato. **Monitoramento Estatístico Aplicado À Ciência Dos Dados: Uma Abordagem Para Validação Contínua De Modelos Preditivos Classificatórios**. Universidade Federal De São Carlos. Centro De Ciências Exatas E Tecnologia Programa De Pós-Graduação Em Engenharia De Produção. SÃO CARLOS - SP Maio, 2022.

CAMARGO, Renata Freitas. **Como a análise do Valor Presente Líquido Anualizado (VPLa) ajuda no processo de avaliação de viabilidade de investimento?** Treasy | Planejamento e Controladoria, Joinvile – SC. Disponível em: <<https://www.treasy.com.br/blog/o-que-e-vpla/>>, março, 2017.

CAMBUI, C. M. C., PIRATELLI, C. L., & PASCHOAL, M. J. (2019). **Estudo de layout produtivo por meio de simulação de eventos discretos em uma empresa do setor de transformação da argila**. Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção, 2019.

CARSON, J. S. **Introduction to Modeling and Simulation**. Proceedings of the 2004 Winter. Simulation Conference, 2004.

CARVALHO, K. M. F.; Raposo, J. F. P.; Costa, A. N. M.; Costa M. G. **Análise e proposta de melhoria de *layout* de processo numa empresa de fabricação de jogos de mesa.** ABREPRO, 2014.

CERRA, A. L.; MAIA, J. L.; ALVES, F. A. G. ***Strategic, structural and relational aspects of three automotive supply chains.*** Gestão & Produção, v. 14, n. 2, p. 253–265, 2007.

CHAGAS, Leticia Olivia Costa Lima. **Proposta de *layout* para implantação em uma empresa metalúrgica com foco na redução de desperdícios /** Leticia Olivia Costa Lima Chagas. - 2021.

CHAKRABARTI, A. **A course for teaching design research methodology, Artificial Intelligence for Engineering Design.** Analysis and Manufacturing, v. 24, p. 317-334, 2010.

CHWIF, L.; MEDINA, A. C. **Modelagem e simulação de eventos discretos: Teoria & Aplicações.** 4. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

CHWIF, L.; MEDINA, A. **Modelagem e simulação de eventos discretos: teoria e aplicações.** 3. ed. São Paulo: Edição do Autor, 2010.

CNI. **Competitividade Brasil 2021-2022.** Brasília, Confederação Nacional da Indústria, 2022. Disponível em: <https://www.portaldaindustria.com.br/estatisticas/competitividade-brasil-comparacao-com-paises-selecionados/>. Acesso em 23, setembro, 2024.

CNI. **Mapa Estratégico da Indústria 2023-2032.** Brasília, Confederação Nacional da Indústria, 2023. Disponível em: <https://www.mapadaindustria.cni.com.br/>. Acesso em 23, setembro, 2024.

CNI. **Perfil da Indústria Brasileira.** Brasília, Confederação Nacional da Indústria, 2023. Disponível em: <https://industriabrasileira.portaldaindustria.com.br/#/industria-total/>. Acesso em 23, setembro, 2024.

CONDE, Antônio; XAVIER, Lúcia Helena; FRADE, Neuci Bico. Aspectos Operacionais Operacionais da Gestão de REEE. In: CARVALHO, Tereza Cristina Melo de Brito; XAVIER, Lúcia Helena (Org). **Gestão de resíduos eletroeletrônicos, uma abordagem prática para a sustentabilidade.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2014. cap. 10, p. 165-174.

CORBETT, T. **Contabilidade de ganhos.** São Paulo: Editora Nobel. 1997.

CORDEIRO, Gabrielly Araújo. **Proposta de método para implantação de projetos de transformação digital.** Gabrielly Araújo Cordeiro – Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica. Campinas, SP: [s.n.], 2022.

CORRÊA, Henrique L. CORRÊA, Carlos A. **Administração de produção e operações: Manufatura e serviços: Uma abordagem estratégica**. ed. 2. São Paulo, Editora Atlas, 2009.

CORREIA, Jeferson Luis. **Análise de produtividade em uma fundição à luz do Lean Manufacturing com o suporte da Simulação de Eventos Discretos / JEFERSON LUIS CORREIA** — 2021. 159 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) — Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Curso de Engenharia de Produção, São Leopoldo, 2021.

COSTA, PEDRO SOUZA. **Proposta De Layout De Indústria Náutica Com O Tecnomatix Plant Simulation**. Universidade Federal De Santa Catarina Campus Tecnológico De Joinville, 2022.

COSTA, Pedro Souza. **Proposta De Layout De Indústria Náutica Com O Tecnomatix Plant Simulation**. Conclusão de Curso de Bacharelado em Engenharia Naval. Universidade Federal de Santa Catarina, 2022.

COX III, J. F.; BLACKSTONE, J. H.; SPENCER, M. S. **APICS Dictionary**. 8th ed., Falls Church VA: American Production and Inventory Society, 1995.

COX III, J. F.; SCHLEIER, J. G. **Handbook da Teoria das Restrições**. Bookman, VitalBook file, 2013.

DALMAS, Volnei. **Avaliação de um layout celular implementado: Um estudo de caso em uma indústria de autopeças / Volmei Dalmas** — 2004. 133 f. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Mestrado Profissional em Engenharia, Porto Alegre, 2004.

DE LIMA, D; et al. **Mapeamento do fluxo de valor e simulação para implementação de práticas lean em uma empresa calçadista**. < <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v16i1.2183>>. Revista Produção Online, Florianópolis, v. 16, n. 1, p. 366-392, mar. 2016.

DINIZ, Bruno Pereira; SILVA, Mateus José De Siqueira; NUNES, Paloma Dos Santos Alves; TOMAZ, Pedro Paulo Mendes. **Proposta de um layout de produção alimentícia através do método SLP e da ferramenta autocad**. X Simpósio De Engenharia De Produção. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil – 25 a 27 de maio de 2022.

DRESCH, Aline; LACERDA, Daniel Pacheco; ANTUNES, José Antonio Valle Júnior; **Design Science Research: Método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia**. Porto Alegre: Bookman, 2015.

DRESCH, Aline; LACERDA, Daniel Pacheco; CAUCHICK, Paulo Augusto Miguel. **Uma Análise Distintiva entre o Estudo de Caso, A Pesquisa-Ação e a Design Science Research**. R. bras. Gest. Neg., São Paulo, v. 17, n. 56, p. 1116-1133, abr./jun. 2015.

DUARTE, Gabriella Mata de Souza. **Proposta de melhoria no layout do setor de produção de uma empresa no segmento de embalagens: estudo de caso em uma Empresa do Polo Industrial de Manaus - AM.** Universidade do Estado do Amazonas (Trabalho de Conclusão de Curso Graduação), 2020.

EDEN, C., & HUXHAM, C. **Action research for management research.** British Journal of Management, 7, 75-86. 1996.

EISENHARDT, K. M. **Building Theories from Case Study Research.** Academy of Management Review, v. 14, n. 4, p. 532-550, 1989.

FARIA, Arthur Riva Galvêas. **Proposta de melhoria de arranjo físico de uma fábrica de açaí utilizando o método SLP simplificado.** Arthur Riva Galvêas Faria – Monografia (graduação) – Instituto Federal do Espírito Santo, Curso Superior em Engenharia de Produção, 2022.

FERNANDES, Constança Lourinho Isidro Monteiro. **Aplicação dos Thinking Processes da Teoria das Restrições à Melhoria do Desempenho Global de Equipamentos (OEE).** Departamento De Engenharia Mecânica E Industrial. Mestrado Integrado Em Engenharia E Gestão Industrial. Universidade NOVA de Lisboa, 2022.

FERNANDES, José António; BERNABEU, Carmen Batanero; GARCÍA, José Miguel Contreras; BATANERO, Carmen Díaz. **A simulação em Probabilidades e Estatística: potencialidades e limitações.** Quadrante, Vol. XVIII, Nº 1 e 2, 2009.

FERREIRA, Amanda Antonino de Castro. **Systematic Layout Planning: Simulação didática para aplicação em disciplina de graduação / Amanda Antonino de Castro Ferreira.** – Campinas, SP: [s.n.], 2021.

FERREIRA, Eduardo Vieira. **Lean E A Indústria 4.0: Uma Estrutura Conceitual Para A Escolha E Validação Econômico - Financeira Das Tecnologias.** Programa De Pós-Graduação Mestrado Profissional Em Engenharia De Produção - Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul. Porto Alegre, 2023.

FERREIRA, William de Paula; ARMELLINI, Fabiano; SANTA-EULALIA, Luiz Antonio de. **Simulation in industry 4.0: A state-of-the-art review.** Computers & Industrial Engineering, [s.l.], v. 149, 106868, nov. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360835220305635>. Acesso em: 01 dez. 2023.

FIGUEIREDO, Luís Henrique Wanderley de. **Aplicação dos tipos de layout: uma análise da produção científica.** 2016.

FILHO, P. **Introdução à modelagem e simulação de sistemas: com aplicações em arena.** Florianópolis: Visual Books Ltda., 2001.

FONTELLES, Mauro José; SIMÕES, Marilda Garcia; FARIAS, Samantha Hasegawa; FONTELLES, Renata Garcia Simões. **Metodologia da pesquisa científica:**

**diretrizes para a elaboração de um protocolo de pesquisa.** Núcleo de Bioestatística Aplicado à pesquisa da Universidade da Amazônia - UNAMA, agosto, 2009.

FORTUNATO, C. T. (2024). **A Simulação Computacional Como Ferramenta Para Análise E Otimização Do Processo Produtivo De Transformadores De Distribuição.** Revista Fatecnológica Da Fatec-Jahu, 18(1), 7-24. <https://doi.org/10.54628/issn2763-5600.v18.1.2024.283>. 2024.

FRANK, Fabrício Gustavo. **Simulador de Eventos Discretos em Python.** Fabrício Gustavo Frank. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Ciência da Computação) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto, 2022.

FREITAS, Wilson Pereira. **Um estudo sobre o fluxo de processo e *layout* industrial para proposição de melhorias em uma empresa de manufatura.** 2016. 153 f. Monografia - Universidade Federal de Ouro Preto, João Monlevade, 2016.

FRIGOTTO, Fransiel; CORSO, Leandro Luís; VACARO Tiago. **Aplicação de simulação computacional para validar o balanceamento de uma linha de produção: estudo de caso em uma empresa do ramo metal-mecânico.** SCIENTIA CUM INDUSTRIA, V. 8, N. 2, PP. 187 — 197, 2020.

FRONTELI, Marcio Henrique; KICH, Julia Chaves; MARUAN, Karim Alemsan; FETTERMANN, Castro Diego. **Desenvolvimento De Produto Integrado À Industria 4.0 Em Empresas Brasileiras.** Iberoamerican Journal of Industrial Engineering. Vol. 14 Issue 27, p46-70. 25p, 2022.

FRY, T. D.; KARWAN, K.; STEELE, D. C. **Implementing Drum-Buffer-Rope to Control Manufacture Lead Time.** The International Journal of Logistics Management. v. 2, n. 1, 1991.

GARBIN, Fernanda Gobbi de Boer. KAMPFF, Adriana Justin Cerveira. **Aprendizagem baseada em Projetos e Simulação Computacional para o Ensino da Engenharia.** Sánchez, J. Editor. Nuevas Ideas en Informática Educativa, Volumen 16, p. 264 - 268. Santiago de Chile, 2022.

GERHARDT, T.; SILVEIRA, D. **Métodos de Pesquisa.** Porto Alegre: Plageder, 2009.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** São Paulo: Editora Atlas, 2002.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 5. ed. São Paulo, Atlas S.A., 2010.

GOECKS, Lucas Schmidt. **Planejamento de leiautes para empresas de pequeno e médio porte: uma análise a partir do *systematic layout planning* e *particle swarm optimization*.** Lucas Schmidt Goecks — 2018. Dissertação (mestrado) Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, São Leopoldo, 2018.

GOLDMEYER, Dieter Brackmann. **Construção de uma estrutura de governança para o uso continuado de modelos de simulação computacional por intermédio do processo de pensamento da teoria das restrições**. Dieter Brackmann Goldmeyer – Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 2012.

GOLDRATT, E.M.; COX, J. **A meta: um processo de aprimoramento contínuo**. São Paulo: IMAM, 1986.

GOLDRATT, E.M.; FOX, R.E. **A corrida pela vantagem competitiva**. São Paulo: IMAM, 1989.

GOODE W.; HATT, P. **Métodos em pesquisa social**; São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1979.

HARMON, R. L.; PETERSON, L. D. **Reinventando a fábrica: conceitos modernos de produtividade aplicados na prática**. Tradução de Ivo Korytowsky. Rio de Janeiro: Campus, 1991.

HARREL, Charles R.; GHOSH, Biman K.; BOWDEN, Royce. **Simulation Using Promodel**. McGraw-Hill, 2000.

HOLST, L. et al. **Integrating simulation into manufacturing system development: a methodological framework**. In: PROCEEDINGS of the Twelfth Annual Conference of the Production and Operations Management Society, POM, Orlando, 2001.

INSTITUTO SENAI DE INOVAÇÃO. **Consultoria e Treinamento Básico In Company sobre Simulação de Eventos Discretos**. São Leopoldo – RS, 2022.

ISZCZUK, Ana Claudia Duarte; VENTRIS, Kauê Fernandes Dias; PINTO, Gabrielly Balsarin; SHIRABAYASHI, Juliana Verga; SANTOS, Marco Aurélio Reis dos; SOUZA, Rodrigo Clemente Thom de; MOLIN FILHO, Rafael Germano Dal. **Evoluções das tecnologias da indústria 4.0: dificuldades e oportunidades para as micro e pequenas empresas**. Brazilian Journal of Development, Curitiba, v.7, n.5, p.50614-50637. May 2021.

JAGSTAM, M.; KLINGSTAM, P. **A handbook for integrating discrete event simulation as na aid in conceptual design of manufacturing systems**. Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference, 2002.

JOHANSSON, B.; JOHNSON, J.; KINNANDER, A. **Information structure to support discrete event simulation in manufacturing systems**. Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference, 2003.

JORGE, Anderson Alencar; LOOS, Mauricio Johnny. **Análise de rendimento de produção com a mudança de Layout**. Análise, v. 38, n. 61, 2017.

JUNQUEIRA VILELA, Pedro. **Metodologia de Análise de Artefatos: usando a Ciência do Design para aperfeiçoar metodologias para desenvolver ontologias**.

Pedro Junqueira Vilela. Dissertação de Mestrado em Ciência da Informação, Universidade de Brasília, 2019.

KLINGSTAM, P.; OLSSON, B.-G. **Using simulation techniques for continuous process verification in industrial system development.** Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference, 2000. p. 1315-1321.

KUECHLER, B; VAISHNAVI, V. **Promoting relevance in IS research: na informing system for design science research.** International Journal of na Emerging Transdiscipline, v.14, n.1 p.125-138, 2011.

KUNRATH, Jorge Luiz. **Resíduos Eletroeletrônicos: Um Diagnóstico da Cadeia de Processamento.** 2015. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2015.

LACERDA, D. P. **Uma discussão sobre o Mundo dos Custos e o Mundo dos Ganhos sob o ponto de vista da Teoria das Restrições.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS, 12., Itapema, 2005. Itapema, 2005.

LACERDA, Daniel Pacheco; DRESCH, Aline; PROENÇA, Adriano; ANTUNES, José Antonio Valle Junior. **Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção.** Gestão. Produção. São Carlos, v. 20, n. 4, p. 741-761, 2013.

LACERDA, Daniel Pacheco; RODRIGUES, Luis Henrique; CORCINI NETO, Secundino Luís Henrique. **Processo de pensamento da teoria das restrições: uma abordagem para compreensão, aprendizagem e ação sobre problemas complexos.** Perspectivas em Gestão & Conhecimento, João Pessoa, v. 1, n. 2, p. 59-76, jul./dez, 2011.

LAKATOS, E. M., MARCONI, M.M. **Fundamentos de Metodologia Científica.** 3. ed. São Paulo: Atlas, 1991.

LAUDON, K. C.; LAUDON, J. P. **Sistemas de informação gerenciais: administrando a empresa digital.** 17. ed. São Paulo: Pearson; Porto Alegre: Bookman, 2023.

LAW, A. M.; KELTON, W. D. **Simulation Modeling & Analysis.** 2. ed. New York: McGraw-Hill Books, 1991.

LAW, Averill M. **Simulation Modeling and Analysis.** 5 ed. McGraw Hill; 5th. 22, janeiro, 2014.

LAZAROTTO, Luana. **Gestão de processo: uma proposta de padronização de um arranjo físico em uma indústria de estofados localizada no sudoeste do paraná.** Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus Francisco Beltrão - Especialização em Engenharia de Produção, 2020.

LEITE, Gustavo dos Santos Vilela. **Otimização de *layout* e arranjo físico em espaços limitados: um estudo efetuado na Empresa Beta**, 2022. Trabalho de conclusão de curso (Curso Superior de Tecnologia em Logística) - Faculdade de Tecnologia de Americana "Ministro Ralph Biasi", Americana, 2022. Trabalho apresentado no V Encontro de Gestão e Tecnologia – Engetec - Fatec Zona Leste, 2022.

LIMA, Alex Pereira de. **Proposta de Modificação de *Layout* Celular de uma Empresa de Autopeças**. 2009. 72f. Monografia – Curso de Engenharia Mecânica – Automação e Sistemas da Universidade São Francisco, Câmpus de Itatiba, 2009.

LIMA, Danilo Felipe Silva; ALCANTARA, P. G. F.; SANTOS, L. C.; SILVA, L. M. F.; SILVA, R. M.; **Mapeamento do Fluxo de Valor e Simulação para implementação de práticas Lean em uma Empresa Calçadista**. Revista Produção Online - ABREPRO, Florianópolis, SC, v. 16, n. 1, p. 366-392, jan./mar. 2016.

LOPES, A. **Avaliação de capacidade de fluxo: sistemas de armazenagem automático**. Anais da 1ª Conferência Latino-Americana de Simulação e Usuários Promodel, 1999.

LUIZ, João Victor Rojas. **Suporte potencial das tecnologias da Indústria 4.0 às atividades de PCP da Teoria das Restrições: uma abordagem multicritério**. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Engenharia. Bauru, 2021.

MABIN, V. J.; BALDERSTONE, S. J. **The performance of the theory of constraints methodology: analysis and discussion of successful TOC applications**. International Journal of Operations & Production Management, v.23, n.6, p568-595, 2003.

MACÊDO, José Eloim Silva de. **Desenvolvimento de modelos de otimização baseados em técnicas evolutivas para o projeto de redes de distribuição de água**. 2023. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2023.

MACHADO, A. Q., & GARCIA, F. M. (2021). **A contribuição da simulação de eventos discretos na gestão da produção e operações da indústria brasileira**. Perspectiva – Educação, Gestão & Tecnologia, 2023.

MACHADO, D. V. C. **A inserção da simulação computacional no planejamento hierárquico de cadeias de suprimentos**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2006.

MAIA, Guilherme de Barros. **O uso da simulação computacional aplicada à programação da produção em uma fábrica de pequeno porte**. 2023. 57 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2023.

MANSON, N.J., **Is operations research really research?** Operations Research Society of South Africa (ORSSA), 2006.

MARCH, S. T; SMITH, G.F. **Design and natural science research on information technology.** Decision Support Systems, v.15, n.4. p. 251-266, 1995.

MARIZ, Fernanda Barreto de Almeida Rocha. **Análise comparativa dos modelos *Drum-Buffer-Rope* e *Constant Work in-Process* em um ambiente com montagem e produção contra pedido.** F.B. A. R Matriz – São Paulo. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, departamento de Engenharia de Produção, 2018.

MARTINS, P. G.; LAUGENI, F. P. **Administração da produção.** 3. ed. São Paulo: Saraiva, 2015.

MAURÍCIO, Thiago Buselato; LEAL, Fabiano; LOMBARDI, Fabrício. **Utilização Da Simulação A Eventos Discretos No Dimensionamento De Um *Layout* Celular.** Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. Natal-RN, 2013.

MAYER, G.; SPIECKERMANN, S. **Lifecycle of simulation models: requirements and case studies in the automotive industry.** Journal of Simulation, 2010, p. 255–259.

MEIRELLES, A. et al. **Simulação e *Layout*: Um Estudo de Caso.** ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO-ENEGEP, 29., 2009. Anais. 2009.

MELO, Janaina Ferreira Marques de. **O relacionamento da gestão da produção com a gestão de custos para tomada de decisão: um estudo em uma empresa industrial de porte médio.** In: Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC. 2008.

MESQUITA, Elisângela Aparecida dos Santos; SANTOS, Gabrielle Batalini dos; CRUZ, Thomas Henrique Alves da; HESPANHOL, Rafael Medeiros. **LAYOUT EM NOVOS EMPREENDIMENTOS: ESTUDO DE CASO DE UMA PROCESSADORA DE CAFÉS ESPECIAIS.** Colloquium Exactarum, vol. 10, n. Especial, Jul–Dez, 2018, p. 120- 126. ISSN: 2178-8332. DOI: 10.5747/ce.2018.v10.nesp.000168, 2018.

MOHER, D.; LIBERATI, A.; TETZLAFF, J.; ALTMAN, D. G. **Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the prisma statement.** Annals of internal medicine, v. 151, n. 4, p. 264-269, 2009.

MONTEVECHI, J. A. B. et al. **Conceptual modeling in simulation projects by mean adapted IDEF: An application in a Brazilian tech company.** In: Winter Simulation Conference, 42, 2010, Baltimore. Anais... Baltimore, 2010.

MONTEVECHI, J.A.B.; PINHO, A.F. de; LEAL, F.; COSTA, R.F.S.; Oliveira, M.L.M. **Conceptual modeling simulation projects by mean adapted IDEF: an application in a brazilian tech company.** In: Proceedings of the Winter Simulation Conference, Baltimore, MD, USA, 2010.

MORAIS, Henrique Mauer. **Análise e implantação do *Manufacturing Execution System*: aplicação dos conceitos da Indústria 4.0 visando o aumento de produtividade e digitalização dos processos industriais.** Bacharelado Em Engenharia De Produção. UniRitter - Canoas, 2023.

MOURA, Cassiano Rodrigues; BORGES, Wiliam José, MEINCHEIM, Edson. **Otimização de *Layout* através do método SLP –um estudo de caso da eficiência produtiva em uma empresa de confecção.** *The Journal of Engineering and Exact Sciences* – JCEC, Vol. 07N. 03, 2021.

MÜLLER, Cláudio José. **A evolução dos sistemas de manufatura e a flexibilidade como fator competitivo.** 2002. 178 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

MÜLLER, J. M., Buliga, O., & Voigt, K.I. (2018). ***Fortune favors the prepared: How SMEs approach business model innovations in Industry 4.0.*** *Technological Forecasting and Social Change*, 132, 2-17. <<https://doi.org/10.1016/j.techfore>>, 2018.

MUTHER, Richard. **Planejamento do *layout*: Sistema SLP.** Tradução de Elizabeth de Moura Vieira, Jorge Aiub Hijjar; Miguel Simoni. 1.ed. São Paulo: Edgar Blücher, 1978.

NAGANO, M. S.; STEFANOVITZ, J. P.; VICK, T. E. ***Innovation management processes, their internal organizational elements and contextual factors: an investigation in brazil.*** *Journal of Engineering and Technology Management*, v. 33, p. 63–92, 2014.

NEGRÃO, Janilce; GIMENES, Hércules Giaretta; PÊGO, Lucas Américo Silvério; SOTSEK, Nicolle Christine; SANTOS, Adriana de Paula Lacerda. **Uma Revisão Sistemática da Literatura sobre os Métodos de Rearranjo de *Layout*.** IX Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção. Ponta Grossa, PR, Brasil, 2019.

NEUMANN, Clóvis; SCALICE, Régis Kovacs. **Projeto de Fábrica e *Layout*.** 1. ed. Rio de Janeiro, Elsevier, 2015.

OKUTMUS, E; KAHVECI, A; KARTASOVA, J. ***Using theory of constraints for reaching optimal product mix: an application in the furniture sector.*** *Intellectual Economics*, v. 9, n. 2, p. 138-149, 2016.

OLIVEIRA JUNIOR, Airton Antunes de. **A importância dos softwares de simulação na Indústria 4.0: uma análise da inserção do *Digital Twin* nos contextos industriais.** 2023. 112 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2023.

OLIVEIRA, Cinara de et al. **Sinergia operacional: uma questão de sobrevivência ou prosperidade?** 2022. 161 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização

em Gestão do Negócio) - Fundação Dom Cabral; Instituto de Transporte e Logística, Porto Alegre, 2022.

OLIVEIRA, J. B. D. **Simulação computacional: análise de um sistema de manufatura em fase de desenvolvimento**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Engenharia de Itajubá, Itajubá, MG, 2007.

OLIVEIRA, J.; NUNES, M.; AFONSO, P. **New Product Development in the Context of Industry 4.0: Insights from the automotive components industry**. In: International Joint Conference on Industrial Engineering and Operations Management, 2018. Anais, p. 83-94, 2018.

OLIVEIRA, John Anthony do Amaral. **Aplicação Da Teoria Das Restrições Em Uma Indústria Alimentícia**. XXXVI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Contribuições da Engenharia de Produção para Melhores Práticas de Gestão e Modernização do Brasil. João Pessoa/PB, Brasil, de 03 a 06 de outubro de 2016.

OLIVEIRA, L. de., Moura, C. R., Oroski, G. da C., Gambeta, M., & Soares, T. L. **Desenvolvimento Do Projeto Conceitual De Layout Para Uma Empresa De Artefatos De Concreto**. The Journal of Engineering and Exact Sciences, 6(3), 0333–0342. <<https://doi.org/10.18540/jcecvl6iss3pp0333-0342>>, 2020.

OLIVEIRA, Maria Bruna Lima. **Melhoria de processos organizacionais: contribuições sob a perspectiva de gestão de processos em uma universidade pública**. DACI - Departamento de Administração. Itabaiana, 2023.

OLIVEIRA, Rafael Pieretti de. **Método para dimensionamento e gestão de linhas de montagem em boxes operadas por equipes: uma abordagem a partir do sistema toyota de produção e da teoria das restrições**. Dissertação (mestrado) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, 2013.

OLIVÉRIO, J. L. **Projeto de fábrica: produtos processos e instalações industriais**. São Paulo: IBLC, 1985.

PACHECO, Gilson Janito. **Gerenciamento de Resíduos Eletro-Eletrônicos: Uma proposta para resíduos de equipamento de informática no município do Rio de Janeiro**. 2013. 153f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Pontifícia Universidade do Rio de Janeiro (PUC-Rio), Rio de Janeiro, 2013.

PASTORIO, Dioni Paulo; HAIDUK, Fernanda Mossi; FRAGOSO, Tainá Almeida. **Ressignificando problemas de lápis e papel: uma reflexão sobre a prática de resolução de problemas através de simulações computacionais**. REnCiMa, São Paulo, v. 12, n. 6, p. 1-26, out./dez. 2021.

PENNA, VINICIUS MEDEIROS. **Planejamento de *layout* celular e avaliação da mudança proposta com o uso de simulação computacional**. Vinicius Medeiros Penna; orientador Lynceo Falavigna Braghrolli. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Santa Catarina, 102p (Centro tecnológico, Graduação em Engenharia de Produção Civil, Florianópolis), 2023.

PEREIRA, Aldemir Silva. **A importância do uso da tecnologia na gestão de produção**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Faculdade Anhanguera de Limeira, Limeira, 2022.

PEREIRA, C.; COSTA, M. **Um modelo de simulação de sistemas aplicado à programação da produção de um frigorífico de peixe**. <<https://doi.org/10.14488/1676-1901.v12i4.994>>. Revista Produção Online, Florianópolis, v. 12, n. 4, p. 972-1001, dez. 2012.

PEREZ, J. L. **TOC for world class global supply chain management**. Computer. Industrial Engineering, v.33, n.1-2, p289-293, 1997.

PIDD, M. **Modelagem empresarial**. Porto Alegre: Bookman, 1998.

PIO, J. G.; PEOBELLI, F. S.; BASTOS, S. Q. A. **Desafios para a Ampliação da Competitividade da Economia Brasileira: uma abordagem a partir da Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação**. Pesquisa e planejamento econômico (ppe) v. 52, n. 1, abr, 2022. Disponível em: <<https://ppe.ipea.gov.br/index.php/ppe/article/viewFile/2033/1347>>. Acesso em: 15 nov. 2023.

PIZARRO, Carolina Vaitiekunas. **O designer e a prática profissional na indústria automobilística no Brasil**. 2014. 305 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, 2014.

PLM SIEMENS. **TECNOMATIX: Plant Simulation**, 2023. Products – Plant Simulation software. Disponível em: <<https://plm.sw.siemens.com/en-US/tecnomatix/products/plant-simulation-software/>>. Acesso em: 28 de out. de 2023.

POLAK, Júnior Rogério. **Aplicação do método SLP no setor de logística de uma indústria de MDF** / Rogério Polak Júnior; orientador: Eric Costa Carvalho. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Curso de Engenharia de Produção -Caçador, SC, 2022.

POLIDORO, Arthur. **Análise da viabilidade técnica e econômica de implantação de software CAE em uma empresa metalmecânica**. Cruzeiro do Sul Educacional - Centro Universitário da Serra Gaúcha – FSG, Caxias do Sul – RS, 2022.

Prodanov, C., & Freitas, E. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico** (2ª edição). Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

RAHMAN, S. **The theory of constraints' thinking process approach to developing strategies in supply chain**. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, v.32, n.9/10, p.809-827, 2002.

RAHMAN, S. **Theory of constraints: a review of philosophy and its applications**. International Journal of Operations & Production Management, v.18, n.4, p.336-355, 1998.

RAMOS, João Victor de Oliveira. **Proposta de novo arranjo físico: estudo de caso em uma indústria de embalagens plásticas do Polo Industrial de Manaus**. 2023. 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso, (Bacharelado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Amazonas, Itacoatiara (AM), 2023.

RANDON, Gabriel; CECCONELLO, Ivandro. **Simulação como Tecnologia Habilitadora da Indústria 4.0: Uma Revisão da Literatura**. Especialização Engenharia 4.0 - Universidade de Caxias do Sul (UCS). SCIENTIA CUM INDUSTRIA, V. 7, N. 2, PP. 117 — 125, 2019.

RANGEL, Cíntia de Lima; RANGEL, Joao Jose de Assis; NASCIMENTO, Janaina Ribeiro do. **Uma abordagem para construção de modelos de simulação a eventos discretos para aplicação como um recurso didático**. Produto & Produção, vol. 16 n.2, p. 56-80, jun, 2015.

RIBEIRO, João Pedro Santana. **Melhoria de Processos utilizando metodologias Lean e estudo do Layout Industrial**. Mestrado em Engenharia Mecânica – Produção Industrial – IPL (Escola Superior de Tecnologia e Gestão – Instituto Politênico de Leiria) Leiria, março de 2023.

RICHTER, Rosana. **Fundamentos e teoria organizacional**. Rosana Richter; Tulio Kléber Vicenzi: UNIASSELVI, 2016. ISBN 978-85-515-0041-5. 2016.

ROBINSON, S. L. **Modes of simulation practice: approaches to business and military simulation**. Simulation Modelling Practice and Theory, v. 10, p. 513–523, 2002.

ROCHA; Henrique Martins. Apostila da Disciplina: **Arranjo físico industrial**. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <<http://livrozilla.com/doc/573322/arranjof%C3%ADsico-industrial>> Acesso em: 20 set. 2023.

RODRIGUES, Alany Teixeira; MOREIRA, Stephany Alves. **O método SLP simplificado aplicado a proposição de melhorias no arranjo físico de uma marmoraria localizada em Poté-MG**. Revista FT - Edição 119 FEV/23, Engenharia de Produção, 2023.

RODRIGUES, Guilherme Valença Silva. **LabFaber: solução para simulação de processos industriais**. Certi Insights, 2022. Disponível em: <<https://certi.org.br/blog/simulacao-de-processos-industriais/>>. Acesso em: 03 de dezembro, 2023.

RODRIGUES, Thales Volpe; DE JESUS, Rômulo Henrique Gomes; OLIVEIRA, Nathan Peixoto; SANJULIÃO, Lo-Ruana Karen Amorim Freire; REIS, Maria José. **Modelo para redução no tempo de carregamento, utilizando técnicas de modelagem e simulação**. Braz. J. of Develop., Curitiba, v. 5, n. 11, p.25386-25401 nov, 2019.

ROSA, Gilson. P. et al. **A reorganização do layout como estratégia de otimização da produção**. GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas, Bauru, Ano 2014, nº 2, abr-jun, p. 139-154, 2014.

RUIZ, Phelipe Viana. **A Simulação Computacional Como Ferramenta De Auxílio À Tomada De Decisão Na Produção De Elementos Pré-Fabricados**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Estadual De Campinas Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. CAMPINAS, 2019.

RUIZ, Phelipe Viana. **A Simulação Computacional Como Ferramenta De Auxílio À Tomada De Decisão Na Produção De Elementos Pré-Fabricados**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Estadual De Campinas Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. CAMPINAS, 2019.

SALES, F. de A., Mesquita, S. D. L. de, & Santis, S. H. da S. de. **PROPOSTA DE MUDANÇA DE LAYOUT EM UM ALMOXARIFADO DE UMA EMPRESA DO SEGMENTO GRÁFICO**. Revista Ibero-Americana De Humanidades, Ciências E Educação, 9(6), 1552–1567. <<https://doi.org/10.51891/rease.v9i6.10343>>, 2023.

SANTOS, Gilberto Martins; MOURA, Fabiana Quadros De; MALHEIROS, Tomas Laion. **Implantação do lean manufacturing na linha de perfilador de chapa lateral da fábrica de silos da Kepler Weber**. Revista de Empreendedorismo e Gestão de Micro e Pequenas Empresas. REGMPE, Brasil-BR, V.4, Nº2, p. 43-58, mai./Ago, 2019.

SANTOS, Mateus Pichetti. **Proposta de melhoria no layout em uma empresa do ramo da saúde e educação**. Cruzeiro do Sul Educacional (Centro Universitário da Serra Gaúcha – FSG - Trabalho de Conclusão de Curso), 2022.

SANTOS, Thiago Diórgenes Lima Pereira dos. **Competências profissionais na Indústria 4.0: uma revisão sistemática**. 2019. Monografia (Graduação em Administração) – Departamento de Administração, Centro de Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2019.

SAUER, Natacha. **Integração da Gestão de Custos ao Planejamento e Controle da Produção baseado em Localização na Construção com apoio de BIM**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em

Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, 2020.

SCANDURA, Terri A.; WILLIAMS, Ethlyn A. **Research methodology in management: Current practices, trends, and implications for future research.** *Academy of Management Journal*, v. 43, n. 6, p. 1248-1264, 2000.

SCHMIDT JUNIOR, R.; SILVA TEIXEIRA, G. da; RIBEIRO, F. G.; NETO, G. B. ***Is there a trade-off between supervision and wage? Evidence from a metal mechanical firm in southern Brazil.*** *Economia Aplicada*, v. 21, n. 1, p. 111–130, 2017.

SCHMIDT, Fabricio Carlos. **Sistema de Produção para Indústria de Autopeças com elementos da Indústria 4.0 / FABRICIO CARLOS SCHMIDT—2019.** 206 f. Tese (Doutorado) — Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, São Leopoldo, 2019.

SCHRAGENHEIM, E.; DETTMER, H. W. **Manufacturing at warp speed: optimizing supply chain financial performance.** Boca Raton: CRC Press LLC. 2000. 342p.

SHANK, John K.; GOVINDARAJAN, Vijay. **A revolução dos custos: como reinventar e redefinir sua estratégia de custos para vencer em mercados crescente competitivos.** Tradução Luiz Orlando Lemos. 2. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1997.

SHINGO, S. **O Sistema Toyota de Produção.** Bookman Editora, 1996.

SHINGO, S. **Sistema de Produção com Stock Zero: o sistema shingo para melhorias contínuas.** 1. ed. Bookman, 1996.

SIHA, S. ***A classified model for applying the theory of constraints to servisse organizations. Managing Service Quality***, v.9, n.4, p.255-264, 1999.

SILVA, Alessandro Lucas da; RENTES, Antonio Freitas. **Um modelo de projeto de Layout para ambientes job shop com alta variedade de peças baseado nos conceitos da produção enxuta.** *Gestão & Produção*, v. 19, n. 3, p. 531-541, 2012.

SILVA, Alexandre Bruno Lauriano da. **Estudo do arranjo físico de uma empresa de fabricação de esquadrias de alumínio.** Universidade Federal da Paraíba (UFPB) – Engenharia de Produção, 2021.

SILVA, Aline Sousa da. **Proposta de melhoria de layout para otimização e automação de processo produtivo.** 2019. 84 f. Monografia. (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, Campus Manaus Distrito Industrial, Manaus, 2020.

SILVA, André Koide da. **Método para avaliação e seleção de softwares de simulação de eventos discretos aplicados à análise de sistemas logísticos.**

André Koide da Silva. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes. São Paulo, 2006.

SILVA, Clebes André. **Modelagem, simulação e otimização do tráfego de ascensores utilizando sistema a eventos discretos**. 2021. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Sustentáveis) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Goiânia, 2021.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2001.

SILVA, Isabela Ferreira Alves da; FERREIRA, Ludmila Luiza Rodrigues Leão; CAMPOS, Manoela Andrade; RIBEIRO, Marcela Boechat; NUNES, Maria Eduarda de Castro; ARCANJO, Nicole Ramalho. **Aplicabilidade da gestão de compras no Mercado & Cia**. 2022. 53 p. Trabalho de conclusão de curso (Curso Técnico em Administração) - Etec Professor Alfredo de Barros Santos, Guaratinguetá, SP, 2022.

SILVA, Ivan José de Mecenas. **O planejamento sistêmico do leiaute administrativo**. Revista de Administração Pública, Rio de Janeiro, v. 17 n. 4, out/dez. 1983. Disponível em: <<http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/rap/article/view/10635>>. Acesso em 21 set. 2023.

SILVA, Leonardo Ciabati. **Arranjo Físico: proposta de reformulação do arranjo físico de uma empresa do setor metalúrgico**. 2019. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

SILVA, M. G.; MOREIRA, B. B. **Aplicação da Metodologia SLP na Reformulação do Layout de uma microempresa do setor moveleiro**. XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP, Salvador, BA, Brasil, 06 a 09 de outubro de 2009.

SILVESTRE, Juliana Lessa; OLIVEIRA, Livia Silva de; RESENDE, Taís Oliveira, PRADO, Lara Barbosa de Oliveira; SILVA, Julia Oliveira. **Aplicação do arranjo físico e layout e de ferramentas de controle para a melhoria da gestão de estoque**. 2º Congresso Brasileiro de Ciência e Saberes Multidisciplinares. Volta Redonda – RJ, 26 a 28 de outubro, 2023.

SIMÃO, Diego Rodrigues Andrade. **Modelagem e simulação de sistemas a eventos discretos utilizando redes de Petri coloridas: uma aplicação para o sistema da Ferrovia Norte Sul**. Diego Rodrigues Andrade Simão. Dissertação (mestrado) Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, 2020.

SIMON, H. A. **The sciences of the artificial**. Cambridge: The MIT Press, 1996.

SKINNER, W. **The focused factory**. Harvard Business Review, p. 113–121, 1974.

SLACK, N. et al. **Administração da produção**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2018.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. Tradução de Maria Teresa Corrêa de Oliveira e Fábio Alher; revisão técnica de Henrique Luiz Côrrea. 2.ed. 10. reimpr. São Paulo: Atlas, 2009.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. et al. **Administração da produção**. 8. ed. [S.I.]: Atlas São Paulo, 2018.

SLACK, Nigel; BRANDON-JONES, Alistair; JOHNSTON, Robert. **Administração da Produção**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2022.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da produção**. 3 ed. São Paulo: Atlas, 2009.

SOARES, Hugo Augusto Sousa. **Priorização de ações para reestruturação de layout produtivo e em uma organização situada no APL têxtil pernambucano utilizando os métodos VTF e Fitradeoff**. 2023. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2023.

SOARES, João Pedro Marcante.; LEMOS, Fernando de Oliveira.; ARAÚJO, César Luciano Klanovicz.; HANSEN, Peter Bent. **A contribuição da simulação computacional para a análise sistêmica da reestruturação de layout e otimização de recursos na manufatura celular: estudo de caso em uma célula de uma empresa do ramo automotivo**. Produto & Produção, vol. 12, n. 3, p. 49-68, out. 2011.

SONNENBERG, Christian; VOM BROCKE, Jan. **Evaluation patterns for design science research artefacts**. In: **Practical Aspects of Design Science: European Design Science Symposium, EDSS 2011**, Leixlip, Ireland, October 14, 2011, Revised Selected Papers 2. Springer Berlin Heidelberg, 2012. p. 71-83.

SOUSA, Ana Filipa Moreira de. **Melhoria do controlo de produção numa empresa de componentes aeronáuticos**. Dissertação de Mestrado (Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial) – Faculdade de Engenharia Universidade do Porto (FEUP), 2019.

SOUSA, Michelli Silva. **Planejamento sistemático de layout (SLP): estudo de caso para uma agroindústria no município de Abaetetuba-PA**. Trabalho de Conclusão de Curso – Graduação, UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ, 2019.

SOUZA, Àcsa Liliane Carvalho Brito. **Estudo da aplicabilidade da teoria das restrições e o Mapeamento de Fluxo de Valor na gestão de processos do Núcleo de Prática Jurídica da Faculdade de Rondônia - Faro**. 2020. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus (AM), 2020.

SOUZA, F. **Do OPT à Teoria das Restrições: avanços e mitos**. Gest. Prod., v. 15, n.24, p.184-197, 2005.

SQUILANTE JÚNIOR, Reinaldo. **Projeto de fábrica e instalações industriais**. Reinaldo Squillante Júnior. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A. 184 p., 2019.

SRIKANTH, M. DBR, buffer management, and VATI flow classification. In: COX, J. F.; Schleier, J. G. **Theory of constraints handbook**. New York. P 312-368. McGraw-Hill, 2010.

STAKE, R. **Case studies**. In: Denzin, N.; Lincoln, Y. (eds). Handbook of qualitative research. London: Sage; 2000.

Susman, G. I., & Evered, R. D. **An assessment of the scientific merits of action research**. Administrative Science Quarterly, 23(4), 582-603. doi: 10.2307/2392581. 1978.

SUZEK, Higor; BING, Wu Xiao. **Aumento de produtividade em um sistema de produção através da simulação computacional**. Braz. J. of Develop., Curitiba, v. 6, n.5, p.29847-29861. ISSN 2525-8761. May 2020.

TAMMONE, G., & Tomomitsu, H. T. A. **As dificuldades enfrentadas pela PME brasileira frente ao paradigma da Indústria 4.0: Um estudo de caso**. In Anais do XXVI SIMPEP (pp. 1-14). Bauru, SP, Brasil, 2019.

TELLES, Eduardo Santos. **Análise dos efeitos do tambor-pulmão-corda na eficiência em um sistema produtivo de engenharia sob encomenda**. Eduardo Santos Telles. São Leopoldo – RS. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, 2019.

THIOLLENT, M. **Metodologia da pesquisa-ação** (17<sup>o</sup> edição). São Paulo: Cortez, 2009.

THIOLLENT, M. **Metodologia da pesquisa-ação** (18<sup>a</sup> edição). São Paulo: Cortez, 2011.

TOMPKINS, James A. WHITE, John A.; BOZER, Yavuz A; TANCHOCO, J. M. A. **Planejamento de Instalações**. 4. ed. Tradução de Luiz Claudio Queiroz de Faria. Rio de Janeiro, LTC, 2013.

TURCATO, Augusto. **Teoria das Restrições, a metodologia que corrige os problemas do seu negócio**. PipeRun, Porto Alegre, 2022. Disponível em: <<https://crmpiperun.com/blog/teoria-das-restricoes-toc/>>. Acesso em 25 out. 2023.

TURNER, Breno Zeraik Lima. **Utilização de simulação a eventos discretos como ferramenta gerencial para auxiliar no planejamento de produção em uma fundição de grande porte**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção na área de Pesquisa Operacional. UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA. Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá, 2023.

ÜLGEN, O. M.; BERKIN, D.; BRAZIER, M. KLUNGLE, R.; MENAWAT, A. **Management of simulation technology in large companies: a panel Discussion.** Proceedings of the 1995 Summer Computer Simulation Conference, 1995.

UMBLE, M.; UMBLE, E. J. **How to apply the theory of constraints' five-step process of continuous improvement.** Cost Management, Boston, v.12, n.5, 1998.

VAN AKEN, J. **Management research as a design science: articulating the research products of mode 2 knowledge production in management.** British Journal of Management, 2005.

VAN AKEN, J. **Management research based on the paradigm of the design sciences: the quest for field-tested and grounded technological rules.** Journal of Management Studies, 2004.

VERGARA, Walter Roberto Hernández; BARBOSA, Fabio Alves; YAMANARI, Juliana Suemi. **UMA PROPOSTA DE ARRANJO FÍSICO EM UMA INDÚSTRIA RECICLADORA DE RESÍDUOS HOSPITALARES.** Revista Científica On-line Tecnologia – Gestão – Humanismo. Faculdade de Tecnologia de Guaratinguetá. Revista v.6, n.1 – maio, 2016.

VESELOVSKÁ, L.; KOŽAROVA, M.; ZAVADSKY, J. **Relationship between information sharing and flexibility in management of enterprises in automotive industry: an empirical study.** Serbian Journal of Management, v. 13, n. 2, p. 381–393, 2018.

VIEIRA, Augusto Cesar Gadelha. **Layout.** 58p. il. Rio de Janeiro, CNI-SESI/DN, 1979.

VIEIRA, Kellen Bicho. **Utilização de Software Comercial para Otimização de Fluxo de Produção.** 2016. 67 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Processos, Universidade Federal do Pará, Belém, 2016.

VOSS, Christopher A; TSIKRIKTSIS, Nikos; FROHLICH, Mark. **Case research in operations management.** International Journal of Operations & Production Management, v. 22, n. 2, p. 195-219, 2002

WATSON, K.J., BLACKSTONE, J.H. GARDINER, S.C. **The evolution of a management philosophy: the theory of constraints.** Journal of Operations Management, Vol. 25 No. 2, pp. (2007) 387-402.

WILLIAMS, E. J. **How simulation gains acceptance as a manufacturing productivity improvement tool.** European Simulation Multiconference, 1996.

ZOPPI, J. V.; OKADA, R. H. **MÉTODOS E FERRAMENTAS QUE AUXILIAM EMPRESAS NA RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS.** Revista Interface Tecnológica, [S. l.], v. 16, n. 1, p. 667–679, 2019. Disponível em: <<https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/603>>. Acesso em: 15 nov. 2023.