

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



**SIMULAÇÃO DE CONFIGURAÇÕES DE MOVIMENTAÇÃO DE UM SISTEMA
AGV PARA TRANSPORTE EM POSTO DE PINTURA ESPECIAL**

RAFAEL DE ASSIS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

RAFAEL DE ASSIS

**Simulação de configurações de movimentação de um sistema AGV para transporte em
posto de pintura especial**

Texto de defesa apresentado ao Programa de Pós-Graduação Profissional em Engenharia de Produção da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre profissional em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Murís Lage Júnior

SÃO CARLOS-SP

2024

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

A ser elaborada na versão final do trabalho.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
Programa de Pós-Graduação Profissional em Engenharia de Produção

Folha de Aprovação

Prof. Dr. Murís Lage Júnior (PPGEP-UFSCar)

Profa. Dra. Juliana Keiko Sagawa (PPGEP-UFSCar)

Prof. Dr. Marco Aurélio de Mesquita (USP-POLI-PRO)

Dedico o presente trabalho a minha esposa Danielle e a meu filho Kalel, pelo amor, apoio e compreensão. A meus pais João e Janet, precursores do incentivo aos meus estudos e a meu irmão Marcelo, espelho como profissional acadêmico.

AGRADECIMENTOS

A **Deus**, pela dádiva da vida, por me garantir saúde e sabedoria no desenvolvimento desta dissertação, que é um sonho por minha parte.

Ao Prof. Dr. **Murís Lage Junior**, pela orientação, profissionalismo e dedicação a minha dissertação. Certamente parte do meu sucesso é resultado de nossa parceria.

Aos membros da banca examinadora, **Profa. Dra. Juliana Keiko Sagawa**, **Prof. Dr. Luiz Antônio Tonin** e **Prof. Dr. Marco Aurélio de Mesquita**, que gentilmente aceitaram participar e colaborar com esta dissertação.

À empresa **SEW-EURODRIVE Brasil Ltda**, que me permitiu este estudo e me deu liberdade para desenvolvê-lo.

Ao **departamento de Engenharia de Produção** da Universidade Federal de São Carlos, pela estrutura cedida e pelo alto grau de comprometimento de todos envolvidos, demonstrando extremo profissionalismo e qualidade no programa do mestrado profissional.

A meus **pais**, fica um agradecimento especial, pelas lições de amor, dedicação, amizade, responsabilidade. Certamente eles são um dos alicerces mais firmes da minha vida. A meu **irmão**, pelo espelho de profissional acadêmico, pela ajuda, compartilhamento de experiência e incentivo nesta dissertação.

A minha amada esposa **Danielle**, pela compreensão e ajuda em tudo que me fez caminhar até aqui, e ao meu precioso filho **Kalel**, minha fonte de inspiração e força. Muitas horas de estudo refletiram no nosso lazer e companhia, vocês são tudo pra mim e muito deste projeto tem esforço de vocês.

A todos que diretamente ou indiretamente contribuíram com o desenvolvimento.

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis”.

José de Alencar

RESUMO

Esta dissertação apresenta uma proposta de solução para movimentação de produtos em processo, simulando a utilização de veículos AGV no processo de pintura especial em uma empresa produtora de acionamentos destinados à indústria. O objetivo da pesquisa é analisar potenciais ganhos produtivos que o AGV pode trazer neste processo, atuando principalmente na diminuição do tempo de espera, que impacta diretamente no *lead time* dos produtos. Baseado no método de experimentação que utiliza a simulação, este estudo apresenta 3 modelos: a situação atual, a implantação de AGV tipo *deck lift* e a implantação de AGV tipo rebocador. A comparação entre os modelos a partir dos indicadores de desempenho evidencia os ganhos produtivos, concluindo que o melhor modelo é a do AGV tipo *deck lift*, que apresenta resultados como diminuição no tempo de espera de 99,17% e melhora no indicador de ganhos de *lead time* que variam de 33,78% até 92,16%, dependendo do tipo de pintura, além de uma melhor utilização do espaço, 84,76% menor ao se comparar com a situação atual. A característica que o modelo com AGV tipo *deck lift* tem de transportar o produto no momento em que é disposto no *buffer* de saída do posto de pintura especial se mostrou capaz de melhorar ganhos produtivos, apresentando condição favorável à organização do setor e influenciando diretamente a qualidade da gestão e a satisfação do cliente.

Palavras-Chave: AGV. *Autonomouns guided vehicle*. Simulação.

ABSTRACT

This dissertation presents a proposed solution for the movement of products in process, simulating the use of AGV vehicles in the special painting process at a manufacturer of drives for the industry. The research objective is to analyze potential productivity gains that AGV can bring to this process, primarily by reducing the lead time, which directly impacts product lead time. Based on the experimentation method that utilizes simulation, this study presents 3 models: the current situation, the implementation of deck lift AGV, and the implementation of tugger AGV. Comparing the models based on performance indicators highlights productivity gains, concluding that the best model is the deck lift AGV, which yields results such as a 99.17% decrease in waiting time and improvements in lead time gain indicators ranging from 33.78% to 92.16%, depending on the type of painting, as well as better space utilization, 84.76% lower compared to the current situation. The characteristic of the deck lift AGV model to transport the product when it is placed in the output buffer of the special painting station has been shown to improve productivity gains, presenting favorable conditions for sector organization and directly influencing management quality and customer satisfaction.

Key-words: AGV. *Autonomously guided vehicle. Simulation.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Tipos de AGV's	26
Figura 2 – Sistemas de orientação para AGV's	27
Figura 3 – Sistemas de comunicação e controle de AGV's	29
Figura 4 – Configuração de <i>layout</i> convencional	31
Figura 5 – Configuração de <i>layout</i> tipo tandem	32
Figura 6 – Configuração de <i>layout</i> tipo fluxo segmentado	33
Figura 7 – Fluxograma de implantação	39
Figura 8 – Conceito logística 4.0	46
Figura 9 – Metodologia de simulação	54
Figura 10 – Fluxo do processo de pintura especial com referência a recursos do Flexsim®	55
Figura 11 – Participação da empresa no mundo	57
Figura 12 – Portifólio de produtos	57
Figura 13 – Fluxograma do processo produtivo	59
Figura 14 – Dispositivos usados na manipulação de materiais	63
Figura 15 – Fluxo do modelo conceitual	65
Figura 16 - Legenda de objetos utilizados na construção dos modelos	66
Figura 17 - Dinâmica da representação da situação atual no software Flexsim®	67
Figura 18 – Configuração da <i>time table</i> sem expediente	68
Figura 19 – Configuração da <i>time table</i> nos horários de refeição	68
Figura 20 – <i>Process flow</i> para sincronização entre guindaste e pintor	71
Figura 21 – Programação de <i>Setup</i>	72
Figura 22 – <i>Process flow</i> Atividades do pintor	72
Figura 23 – Posto de pintura especial	74
Figura 24 – <i>Process flow</i> para movimentação de <i>flow itens</i> a partir do <i>buffer</i> de saída	75
Figura 25 – Modelo que representa a situação atual	76
Figura 26 – Estrutura metálica para AGV tipo <i>deck lift</i>	77
Figura 27 – Representação situação proposta com AGV <i>deck lift</i> no Flexsim®	77
Figura 28 – <i>Process flow</i> que define comportamento do AGV	78
Figura 29 - Vagão proposto para uso no AGV rebocador	80
Figura 30 - Representação da situação proposta com AGV rebocador	81
Figura 31 - <i>Process flow</i> criado para carregamento de bateria	82

Figura 32 - Gráficos para definição de <i>warm-up</i>	84
Figura 33 - Comparativo do modelo que representa a situação atual: simulado vs real ...	89
Figura 34 – Sobreposição produção diária dos produtos entregues na linha de motor	91
Figura 35 - Sobreposição ajustada da produção diária dos produtos entregues na linha de motor.....	92
Figura 36 - Ganhos no <i>lead time</i> entre modelos construídos	96

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Conceitos tecnológicos na I4.0	22
Quadro 2 – Tecnologias de comunicação de AGV's	28
Quadro 3 – Resumo dos aspectos importantes para roteamento	34
Quadro 4 – Aspectos para arquitetura de um sistema AGV	37
Quadro 5 – Variáveis de pesquisa	50
Quadro 6 – Significado de categorias de corrosividade	60
Quadro 7 – Premissas do modelo conceitual	64
Quadro 8 – Percentual dos <i>flow items</i>	69
Quadro 9 – Sequência de <i>labels</i> e tempos de processo	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Especificações técnicas do AGV	79
Tabela 2 - Parametrização da simulação modelo atual	86
Tabela 3 – Parametrização da simulação modelo de AGV com <i>deck lift</i>	87
Tabela 4 – Parametrização da simulação modelo de AGV com rebocador	88
Tabela 5 – Comparação produtos entregues na expedição (simulação vs real)	90
Tabela 6 - Composição dos produtos entregues na expedição (simulação vs real)	90
Tabela 7 – Comparação produtos entregues na linha de motores (simulação vs real)	90
Tabela 8 - Comparação ajustada produtos entregues na linha de motores (simulação vs real)	92
Tabela 9 : Comparação do ganho com inserção do modelo com AGV <i>deck lift</i>	93
Tabela 10 : Comparação do ganho com inserção do modelo com AGV rebocador	94
Tabela 11 : Comparação entre modelos com inserção do AGV	95

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 CARACTERIZAÇÃO DO TEMA.....	15
1.2 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA E OBJETIVO DA PESQUISA.....	16
1.3 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA	18
1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	19
2 REVISÃO DE LITERATURA	21
2.1 INDÚSTRIA 4.0	21
2.2 AUTONOMOUS GUIDED VEHICLE	23
<i>2.2.1 Características.....</i>	<i>24</i>
<i>2.2.2 Aplicações.....</i>	<i>35</i>
<i>2.2.3 Design de sistema AGV.....</i>	<i>36</i>
<i>2.2.4 Simulação.....</i>	<i>40</i>
<i>2.2.5 AGV no futuro</i>	<i>44</i>
2.3 LOGÍSTICA 4.0.....	45
3 MÉTODO DE PESQUISA.....	47
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA.....	47
3.2 VARIÁVEIS DA PESQUISA	49
3.3 INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS	50
<i>3.3.1 Dimensionamento da simulação</i>	<i>51</i>
3.4 ETAPAS DA PESQUISA	53
<i>3.4.1 Concepção</i>	<i>54</i>
<i>3.4.2 Implementação.....</i>	<i>55</i>
<i>3.4.3 Análise.....</i>	<i>56</i>
4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....	57
4.1 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA	57
4.2 PROCESSO DE PINTURA	58
<i>4.2.1 Pintura padrão de acabamento</i>	<i>59</i>
<i>4.2.2 Pintura preliminar</i>	<i>60</i>
<i>4.2.3 Pintura especial de acabamento.....</i>	<i>61</i>
4.3 PROCESSO LOGÍSTICO ATRELADO AO POSTO DE PINTURA ESPECIAL.....	61
4.4 MELHORIA NO PROCESSO DE PINTURA ESPECIAL	63
4.5 MODELO CONCEITUAL	63

4.6	ARQUITETURA NO SOFTWARE FLEXSIM®.....	65
4.6.1	<i>Modelo que representa situação atual</i>	<i>66</i>
4.6.2	<i>Modelo proposto com AGV deck lift</i>	<i>76</i>
4.6.3	<i>Modelo com AGV rebocador</i>	<i>79</i>
4.6.4	<i>Parâmetros da simulação</i>	<i>83</i>
4.6.5	<i>Verificação dos modelos</i>	<i>89</i>
4.6.6	<i>Validação dos modelos.....</i>	<i>89</i>
4.7	RESULTADOS.....	93
4.7.1	<i>Comparação entre modelos que representam a situação atual e modelo proposto com AGV deck lift.....</i>	<i>93</i>
4.7.2	<i>Comparação entre o modelos que representam a situação atual e modelo proposto de AGV rebocador</i>	<i>94</i>
4.7.3	<i>Comparação entre modelos propostos</i>	<i>95</i>
5	CONCLUSÃO.....	99
5.1	DISCUSSÕES SOBRE RESULTADOS	99
5.2	TRABALHOS FUTUROS E OPORTUNIDADE DE MELHORIA	100
5.3	CONTRIBUIÇÃO	101
6	REFERÊNCIAS	103
	APÊNDICE A – DADOS ESTATÍSTICOS	10311
	APÊNDICE B – PRODUTO TECNOLÓGICO	10315

1 INTRODUÇÃO

1.1 CARACTERIZAÇÃO DO TEMA

A constante evolução da indústria em busca de maior produtividade e competitividade impulsiona o desenvolvimento contínuo de novas tecnologias. Mazzaferro (2018) destaca que estamos testemunhando uma verdadeira revolução tecnológica na indústria, capaz de transformar os sistemas de produção. O autor ressalta que a adoção de fontes inteligentes, a ampla utilização de robótica, sistemas avançados de armazenamento de dados e o monitoramento em tempo real são elementos-chave para aumentar a produtividade e assegurar a qualidade do processo.

Soluções inteligentes e integradas de automação para problemáticas rotineiras do processo produtivo têm potencial para se tornar um diferencial competitivo para uma empresa, trazendo, além de benefícios econômicos, informação para a administração dos processos. Dentro deste cenário, a quarta revolução industrial é embalada pela ampla aplicação de tecnologia dentro dos processos produtivos na indústria, que busca a capacidade de interação com o cliente, a flexibilidade sem prejuízo de tempo e o aumento da capacidade produtiva (Buer; Strandhagen; Chan, 2018, Müller, 2019). Estes fenômenos dão identidade ao que chamamos de indústria 4.0 (I4.0).

A velocidade da informação permite reações ágeis e, neste sentido, a I4.0 traz colaborações que podem ser úteis para a gestão da produção. A tecnologia aliada à busca pela melhoria contínua pode elevar o desempenho dos processos produtivos. Em sua revisão de literatura, Franco et al. (2020) expõem o impacto do emprego de tecnologias referentes à I4.0. Os autores evidenciam estudos que apontam benefícios nos âmbitos econômico, social e ambiental. Em termos econômicos, observam-se ganhos significativos relacionados ao aumento da produtividade e à redução de custos. No âmbito social, destacam-se benefícios como a diminuição de tarefas repetitivas, monótonas e exaustivas. Por fim, os ganhos ambientais resultam do compartilhamento eficiente de informações ao longo de toda a cadeia de valor, propiciando a redução de descartes e desperdícios.

A implementação de tecnologias avançadas no ambiente logístico, como o sistema *Warehouse Management System* (WMS), analisado por Assis e Sagawa (2018), ilustra como a integração de sistemas em tempo real pode otimizar as operações. O referido sistema não apenas simplificou o fluxograma das atividades logísticas, resultando em ganhos de produtividade, mas

também teve impactos positivos na satisfação dos colaboradores e na acurácia do estoque (de 53% para 98%). Esse cenário é complementado pelos achados de Franco et al. (2020), que destacam os benefícios econômicos e sociais derivados da adoção de tecnologias, como redução de custos e tarefas repetitivas. Além disso, as conclusões de García-Muiña et al. (2021) sobre a acuracidade e velocidade na coleta e armazenamento de dados provenientes da Indústria 4.0 sugerem que essas tecnologias não apenas aprimoram a eficiência operacional, mas também permitem a criação de métricas sociais quantitativas. Essas métricas, conforme observado pelos autores, desempenham um papel crucial na garantia da transparência no desempenho social de uma empresa, especialmente no que diz respeito a critérios de governança, sociais e ambientais. Assim, a convergência dessas evidências destaca que a tecnologia é um elemento central da Indústria 4.0, visto que não apenas impulsiona a eficiência operacional, mas também influencia positivamente as esferas sociais, econômicas e ambientais das organizações.

Embora a tecnologia esteja sendo aplicada em várias situações, a implantação e o uso destes benefícios requerem pesquisa e prudência para que sejam capazes de reverter sempre o investimento em lucro.

1.2 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA E OBJETIVO DA PESQUISA

Recentemente, observa-se um crescente interesse por parte de algumas empresas na implementação de tecnologias, contudo, ainda existem diversas oportunidades a serem exploradas nesse campo. A ampla gama de tecnologias disponíveis oferece um potencial significativo para a utilização da informação em prol do controle efetivo dos processos produtivos. A interconexão dessas tecnologias não só viabiliza uma sinergia entre elas, mas também propicia um crescimento gradual das empresas à medida que adquirem e incorporam novas soluções tecnológicas.

No âmbito deste estudo, concentramo-nos em analisar uma aplicação específica relacionada à movimentação entre postos de trabalho em uma empresa do setor de acionamentos industriais. Nesse contexto, existe um interesse no uso do *Autonomous guided vehicle* (AGV) por parte da empresa, que quer aprimorar e modernizar os processos internos da organização. Este trabalho visa explorar as potencialidades dessas tecnologias específicas, destacando como sua adoção pode contribuir para a eficiência operacional e o desenvolvimento contínuo da empresa no cenário industrial atual. A presente pesquisa é conduzida por um colaborador da empresa que, por consenso mútuo entre empresa e colaborador, propôs a

inserção do AGV como parte da solução referente à transferência de produtos no processo produtivo com acesso total ao banco de dados da empresa.

A empresa estudada é SEW Eurodrive Ltda, uma multinacional alemã produtora de soluções em acionamentos eletromecânicos voltados à indústria. A planta em questão é uma montadora de motorreductores, motores elétricos e inversores de frequência, localizada no interior paulista. A empresa opera no sistema de produção ATO (*Assembly to Order*), composta por postos de montagem equipados para montar uma família de produtos. Estes postos são interligados por esteiras até o posto de teste. Após testados, os produtos são transportados por um transportador aéreo para o posto de pintura padrão e, posteriormente, descarregados na expedição. Todo o transporte de produtos entre postos de trabalho é automatizado.

Recentemente a demanda por produtos com pinturas customizadas vem aumentando, representando aproximadamente 13% da produção. Essas pinturas não são efetuadas no posto de pintura padrão porque os inúmeros *setups* para mudança de cor reduziriam o tempo produtivo no posto, além da dificuldade de controle de tempo de cura da tinta, uma vez que as pinturas especiais apresentam tempos de ciclo que vão de 40 minutos até 48 horas. O transporte dos produtos que partem do posto de pintura especial é efetuado de maneira manual e sofre atraso no despacho porque não há operador dedicado a esta aplicação, devido à alta variabilidade de tempos de ciclo. Este atraso impacta diretamente na pontualidade das operações, apresentando até 57% de atraso referente à espera de produtos no posto de pintura especial, mesmo que o planejamento e controle de montagem (PCM) antecipe o início do processo das ordens de montagem que precisam passar em algum momento no posto de pintura especial.

Neste cenário, há registros de espera de até 6 dias para transferir o produto finalizado até a expedição, contudo, a média é de 12 horas. As causas para esta espera se dão porque não existe um colaborador dedicado somente para esta transferência, e como cada aplicação de pintura especial segue um roteiro diferente, o ritmo de saída de produtos pintados é intermitente. Essa particularidade gera dificuldades para a definição de um roteiro de transferência manual por parte da logística. Estes atrasos na transferência de produtos pintados para a expedição ocasionam desorganização no posto de pintura, que tem espaço limitado, gerando um acúmulo de produtos com a operação de pintura finalizada e alterando a sequência definida de transporte destes produtos finalizados para a expedição. Esta condição promove a existência e intensificação de atrasos, afetando o cliente final.

Esta pesquisa tem como objetivo principal analisar os potenciais ganhos do transporte de produtos pintados partindo do posto de pintura especial por meio da inserção do AGV no processo de transporte.

Neste contexto, este trabalho se propõe a responder a seguinte questão de pesquisa:

Quais os benefícios esperados com a implantação de um sistema AGV para solucionar a movimentação de produtos acabados e peças partindo do posto de pintura especial?

1.3 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

O AGV é considerado uma solução promissora para otimizar o processo de transporte interno, proporcionando agilidade, independência no início e término das atividades, confiabilidade e rastreamento das operações. A meta final é a redução significativa do *lead time* no posto de pintura, concentrando esforços na eliminação do tempo de espera até o transporte para a próxima etapa do processo produtivo. Isso não apenas reduzirá o tempo total, mas também garantirá o despacho na sequência correta, contribuindo para a organização do posto de trabalho. É esperado que os resultados alcançados proporcionem uma redução expressiva no tempo de espera pela disponibilidade de movimentação dos produtos no posto de pintura especial. O AGV, por sua inteligência e capacidade de identificar a necessidade de movimentação, promete aumentar a confiabilidade na entrega de produtos ao cliente final.

Ao se alinhar com a I4.0, segundo Gilchrist (2016), o AGV emerge como um elemento conectado, facilitando a disponibilidade de informações relevantes em tempo real. Este estudo, apoiado por trabalhos similares de Freitas (2018), Moreira (2017) e Leite et al. (2015), visa não apenas aprimorar os processos internos da empresa em questão, mas também fornecer um guia valioso para outras organizações e pesquisadores interessados na aplicação eficiente do AGV na cadeia de suprimentos.

A revisão de literatura abrangente realizada neste estudo não se limita ao setor de manufatura, mas também explora cenários diversos, enriquecendo o conhecimento disponível. Além disso, a construção detalhada de um modelo de simulação no *software* Flexsim®, que simula a inserção do sistema AGV em atividades de pinturas customizadas, oferece uma visão prática e aplicada dos potenciais benefícios dessa tecnologia. Este trabalho, portanto, não apenas agrega conhecimento teórico, mas também fornece *insights* valiosos para a tomada de decisões e para a implementação eficaz de sistemas AGV em ambientes industriais específicos.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Esta dissertação está dividida em capítulos distintos. O capítulo 1 introduz e caracteriza a pesquisa, o capítulo 2 apresenta a revisão de literatura, seguido pelo capítulo 3, que destaca os procedimentos metodológicos adotados na pesquisa. O capítulo 4 apresenta a aplicação da simulação com seus resultados e, por fim, o capítulo 5 expõe as conclusões da pesquisa.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 INDÚSTRIA 4.0

A estratégia de adotar tecnologias da Indústria 4.0 (I4.0) tem se destacado como um meio eficaz para aprimorar a qualidade dos produtos e otimizar os processos de fabricação, como destacado por Tortorella e Fettermann (2018). Stadnicka et al. (2020) ressaltam que a complexidade crescente dos produtos e dos sistemas de manufatura torna o gerenciamento e o controle mais desafiadores, destacando a necessidade de adoção de tecnologias para enfrentar esses desafios e proporcionar benefícios significativos à manufatura e à administração da produção.

Autores como Tortorella et al. (2021), Silva et al. (2021) e Valamede e Akkari (2020) convergem ao associar a I4.0, introduzida pelo governo alemão, ao progresso na manufatura inteligente. A I4.0, como observam Peças et al. (2021) e Nunes e Barbosa (2020), representa uma nova revolução industrial que está transformando os mercados de manufatura e serviços, possibilitando processos mais inteligentes, integrados e automatizados por meio de tecnologias inovadoras, resultando em maior flexibilidade. Martínez-Gutiérrez et al. (2021) enfatizam que as revoluções industriais impulsionam avanços tecnológicos que contribuem para o progresso econômico e social.

Javed et al. (2021) definem a I4.0 como uma abordagem mais rápida, eficiente e centrada no cliente. Buer, Strandhagen e Chan (2018) argumentam que o uso de tecnologias confere inteligência a produtos e processos, possibilitando a coleta e a análise de dados, bem como a interação entre processos, produtos, clientes e fornecedores por meio da internet. Kamble, Gunasekaran e Dhoni (2020) complementam afirmando que a competitividade impulsionou a evolução dos sistemas de manufatura para um nível inteligente, sendo a I4.0 a integração bem-sucedida entre os processos de produção e as tecnologias de informação.

Em um cenário de constante inovação, a criação e popularização de tecnologias, tanto para consumidores quanto para a indústria, são inevitáveis. Tortorella e Fettermann (2018) concluem que os elementos da I4.0 estão revolucionando a manufatura, gerando novos modelos de negócio e de serviços inovadores. É importante notar que não existe um selo de adesão ou pré-requisitos definitivos para rotular uma empresa como I4.0. Consequentemente, tanto pesquisadores quanto profissionais apresentam diferentes opiniões sobre quais elementos compõem a I4.0, como esses elementos se relacionam e onde a I4.0 é aplicável (Buer;

Strandhagen; Chan, 2018). O quadro 1 sintetiza algumas tecnologias presentes no contexto de I4.0.

Quadro 1: Conceitos tecnológicos na I4.0

Conceito tecnológico	Descrição
IoT - Internet das coisas	Rede de interação de dispositivos físicos, capazes de interagir de maneira rápida e sem fio com a internet, provendo fluxo contínuo de informação.
Sistemas Cyberfísicos CPS	Sistema digital capaz de combinar modelagem computacional, dados físicos e dados estatísticos.
<i>Big Data</i>	Banco de dados robusto, capaz de processar e tratar os dados coletados.
Nuvem	Acessos a informações disponíveis a partir de um provedor de computação.
Sensores e atuadores	Tecnologias capazes de traduzir eventos físicos em dados digitais.
Robótica autônoma	Integração de robôs colaborativos e inteligentes.
Simulação e virtualização	Ferramentas de suporte a tomada de decisão baseada na réplica de uma realidade desejada com testes sem prejuízos e custos onerosos ao processo produtivo.
Manufatura Aditiva	Utilização de protótipos e impressão 3D para benefícios no processo.
Sistema de execução de manufatura (MES)	Central de distribuição de informações no processo.
Cadeia de Valor Eletrônico eVC	Plataforma digital colaborativa junto a fornecedores, clientes internos e externos, permitindo conectividade, colaboração e cooperação contínuas.

Fonte: Adaptado de Peças et al. (2021).

Tortorella et al. (2021) e Salvadorinho e Teixeira (2021) destacam *big data*, internet das coisas (IoT) e computação em nuvem como tecnologias fundamentais para a I4.0, entretanto, Silva et al. (2021) ressaltam as dificuldades na adoção desses elementos, como restrições financeiras, falta de apoio da gestão, resistência a mudanças, precariedade da infraestrutura e baixa qualidade na coleta de informações. A implantação da I4.0, como apontado por Tortorella et al. (2021), apresenta desafios mais pronunciados em economias emergentes. Países em desenvolvimento enfrentam frequentemente obstáculos adicionais, como a falta de uma economia robusta para sustentar a importação de tecnologias e a incerteza quanto ao retorno financeiro e ao suporte técnico necessário para lidar com essas inovações. Em meio a essa complexidade, Tortorella e Fettermann (2018) alertam para a importância de equilibrar a aplicação de alta tecnologia com a simplicidade, visando alcançar um desempenho equilibrado. Nesse contexto, o AGV emerge como um componente crucial da I4.0, operando em conjunto

com as tecnologias de base. O AGV desempenha um papel de interação do processo produtivo com as demandas de movimentação de produtos dentro das empresas. Esse relacionamento permite que o AGV opere de maneira autônoma, otimizando a eficiência no transporte e destacando sua importância no contexto da transformação digital da indústria.

2.2 AUTONOMOUS GUIDED VEHICLE

Para Kumar et al. (2015), as indústrias manufatureiras estão buscando tecnologias que associem maior agilidade e menor custo na produção de pequenos e médios lotes. Benzidia et al. (2019) apontam que a automação pode ser precursora na geração de valor. A automação garante confiabilidade e acessibilidade em tempo real e esses benefícios têm ação direta na tomada de decisões, possibilitando processos mais eficientes (Benzidia et al., 2019). Desta forma, a aderência da tecnologia nos processos produtivos proporciona o acesso fácil à informação, trazendo benefícios para a gestão. Bechtsis et al. (2017) mencionam que a evolução da IoT e da I4.0 oferecem oportunidades para manuseio flexível, combinando sofisticação entre *softwares* e *hardwares*. Assim, para De Ryck, Versteyhe e Debrouwere (2020), os AGV's devem ter a capacidade de adaptação para atender os requisitos da I4.0. Cui, Wang e Jan (2019) tratam sobre a capacidade de competitividade da empresa frente ao mercado por meio da automação por AGV's.

AGV's, como definido por diversos autores - De Ryck, Versteyhe e Debrouwere (2020), Fazlollahtabar e Saidi-Mehrabad (2013), Fragapane et al. (2019), Gola e Klosowski (2019), Hsueh (2010), Kesen e Baykoç(2007), Lee, Park e Kim (2019), Lei et al. (2017), Lu et al. (2017), Nunes e Barbosa (2020), Senaras (2019), Vis (2006) e Yao et al. (2020) - são veículos não tripulados usados para a movimentação horizontal de materiais nos processos de produção. Almeida et al. (2019) justificam o surgimento do AGV como sendo um sistema capaz de substituir a interação humana na movimentação logística, capaz de carga e descarga de materiais, provendo segurança e velocidade nas operações programadas. Impactos positivos dos AGV's na indústria estão relacionados à sustentabilidade, à produtividade, à economia de custos de mão de obra, à redução de energia e à segurança (Nunes; Barbosa, 2020).

O transporte de materiais entre estações de trabalho é um campo em que se pode desenvolver práticas a fim de melhorar o processo com diminuição de tempo e, consequentemente, custo, já que o transporte é uma atividade que não agrega valor (Xavier et al., 2018). Para a sobrevivência no mercado, a redução de custo deve ser o objetivo dos fabricantes de bens de consumo (Ohno, 1997).

Neste contexto, Bechtsis et al. (2017) dizem que os AGV's são um campo de pesquisa emergente, que se concentra nas questões econômicas, na otimização de processos e em problemas de distribuição. Muita tecnologia é utilizada na aplicação e manutenção dos sistemas AGV's, que são controlados por sistemas inteligentes e têm a capacidade de se conectar a outras máquinas (Fazlollahtabar; Saidi-mehrabad, 2013). O AGV é um dispositivo comum na I4.0 pela flexibilidade, inteligência e automação (Lee; Park; Kim, 2019).

Os AGV's desempenham o papel principal do sistema de transporte, que pode processar toda a movimentação e manuseio realizado com maior velocidade, eficiência, precisão e confiabilidade (Foit; Gołda; Kampa, 2020, Li; Kuhl, 2017, Neradilova; Fedorko, 2017, Xiao et al., 2020). De Ryck, Versteijhe e Debrouwere (2020) informam que os AGV's constituem uma parte importante dos sistemas de transportes logísticos atuais. Segundo Berman, Schechtman e Edan (2009), Fu et al. (2021), Kabir e Suzuki (2019), Kumbhar, Thombare e Salunkhe (2018), Neradilova e Fedorko (2017), os AGV's vêm se tornando importantes pela sua confiabilidade, eficiência e tempo de resposta, comumente utilizados em empreendimentos industriais e linhas comerciais. Benzidia et al. (2019) ainda mostram em seu estudo a aplicabilidade na área de saúde. Almeida et al. (2019), Fazlollahtabar e Saidi-Mehrabad (2013) e Vis (2006) expõem a variedade de áreas de atuação que um AGV pode ser utilizado, como ambientes internos e externos, áreas de transbordo e transporte externo e distribuição etc.

Automatizar processos a partir da inserção de um sistema AGV fornece benefícios, como alta flexibilidade (Witczak et al., 2020), redução de encargos trabalhistas, redução de acidentes de trabalho, aumento significativo na produtividade, aumento na qualidade do produto, contribuição com o meio ambiente, capacidade de interação com outros sistemas, redução de custos operacionais, facilidade de adaptação a novas rotas, abastecimento preciso das linhas de produção, entre outros (Almeida et al., 2019). Javed et al. (2021) demonstram a segurança na qual a exposição a um fluxo maior de veículos dentro da fábrica pode proporcionar ao se utilizar AGV's.

2.2.1 Características

Os AGV's representam uma inovação no cenário industrial, indo além da mera função de transporte, proporcionando funcionalidades que se integram diretamente ao processo produtivo. A incorporação desses veículos no ambiente fabril demanda uma estrutura adaptada, variando de acordo com a complexidade necessária para a aplicação específica. A versatilidade dos AGV's é evidenciada pela capacidade de fornecer transporte mediante acionamento de

botoeira ou, alternativamente, realizar todo o processo de transporte de forma autônoma, sem intervenção humana.

Benzidia et al. (2019) destacam a previsibilidade e a transparência que os AGV's trazem aos processos industriais. A velocidade constante proporcionada por esses veículos promove regularidade e rastreabilidade, conferindo maior previsibilidade aos processos, especialmente quando comparado à condição humana, que pode apresentar queda de desempenho devido à fadiga. Processos altamente eficientes e com padrões repetitivos no transporte de materiais são identificados por Lee, Park e Kim (2019) como os que mais se beneficiam das vantagens oferecidas pelos AGV's.

Dada a ampla gama de possibilidades que os AGV's oferecem ao processo produtivo, é crucial realizar uma seleção criteriosa das condições em que sua aplicação seja economicamente viável, justificando, assim, o investimento. Nas seções seguintes, serão apresentadas algumas características que os AGV's podem fornecer para aprimorar os processos industriais.

2.2.1.1 Tipos de AGV's

Um, Cheon e Lee (2009) e Vis (2006) destacam a variedade de modelos de AGV's, sendo que cada modelo apresenta características específicas que os tornam adequados para diferentes aplicações industriais. Essas características incluem diversas capacidades de carga, habilidade para realizar carga e descarga de materiais, capacidade de puxar vagões, empilhar paletes, entre outras funcionalidades. Em termos de sua construção física, os AGV's podem ser projetados com uma variedade de características para se adaptarem facilmente ao ambiente em que operam. Freitas (2018) oferece uma classificação abrangente desses veículos autônomos, destacando três categorias principais:

- veículos de reboque: capazes de puxar carga acondicionada em outras estruturas de movimentação;
- veículos de carga: capazes de levar carga sobre sua estrutura;
- veículos “garfo” ou empilhadeira: capazes de carregar e descarregar carga, como uma empilhadeira.

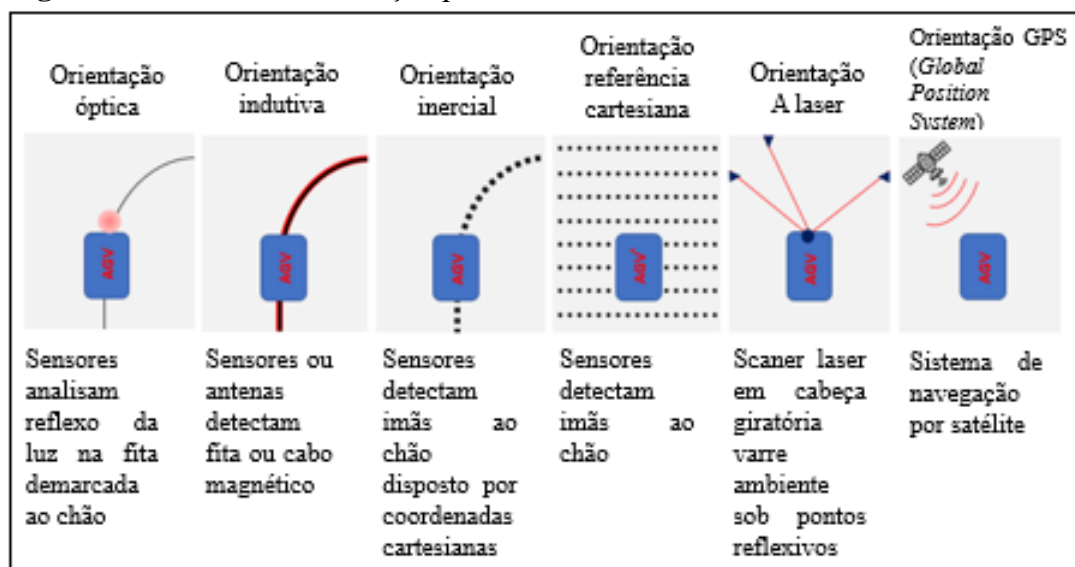
A figura 1 ilustra esta classificação dos AGV's.

Figura 1: Tipos de AGV's

Fonte: Perfil de SEW Eurodrive (2022) e Sinova (2022).

2.2.1.2 Orientação e comunicação

Os AGV's necessitam de um sistema de orientação que os guie pelo percurso, o qual orienta o veículo a não sair da rota, percorrendo somente o caminho delimitado. A precisão de localização é extremamente importante para o alcance da verdadeira autonomia do veículo (Alves, 2010). Existem várias tecnologias desenvolvidas para a orientação dos veículos, Fragapane et al. (2021) explicam que o sistema de orientação de um AGV evoluiu em vários estágios, passando de orientação mecânica, ótica, indutiva, inercial e laser. Os autores ainda completam que este sistema, aliado à inteligência artificial (IA) e ao mapeamento simultâneo, permite ao veículo interpretar as suas ações, possibilitando mais flexibilidade. Dos Reis e Morandin Junior (2021) discutem que a utilização de sensores nos AGV's está diretamente ligada à medição desejada do veículo, tornando-o capaz de ser mais preciso, estável e, conseqüentemente, mais produtivo. Alves (2010) explica que a orientação por GPS geralmente é aplicada a ambientes externos e a grandes percursos. A figura 2 apresenta estas tecnologias de orientação.

Figura 2: Sistemas de orientação para AGV's

Fonte: Adaptado de Fragapane et al. (2021).

Fazlollahtabar e Saidi-Mehrabad (2013), Gola e Klosowski (2019) e Vis (2006) esclarecem que os sistemas de orientação que guiam o movimento dos AGV's podem se utilizar de diferentes métodos, os quais incluem fitas demarcando o chão, fios embutidos ou até mesmo tecnologias de alcance livre, que operam sem a necessidade de indicação física. É importante notar que, como apontado por Fazlollahtabar e Saidi-Mehrabad (2013), as tecnologias de alcance livre frequentemente demandam um investimento mais substancial.

A seleção do sistema de orientação é determinada pelo orçamento disponível e pela flexibilidade necessária para o projeto do sistema AGV. Por exemplo, sistemas de orientação óptica proporcionam flexibilidade a um custo relativamente mais baixo. No entanto, é importante considerar que o tráfego constante de veículos e pessoas pode danificar as fitas de demarcação no chão, comprometendo o funcionamento dos AGV's. A figura 7 (ver p. 40) oferece *insights* valiosos para tomar decisões sobre a aplicabilidade dos diversos sistemas de orientação, considerando diversas funcionalidades dos AGV's.

Além do sistema de orientação para o funcionamento eficiente dos AGV's, é essencial contar com um sistema de comunicação que seja a via pela qual os AGV's recebem suas tarefas. Assim como o sistema de orientação, o sistema de comunicação abrange diversas tecnologias, cada uma com características específicas, todas projetadas para manter o fluxo e a operação eficiente dos AGV's. De acordo com Freitas (2018), existem tecnologias de comunicação por rádio, infravermelho, fio guia, circuito de indução e Wi-fi. O Quadro 2 apresenta as características distintas de cada uma dessas tecnologias, auxiliando na escolha da mais adequada para as necessidades específicas do sistema AGV em questão.

Quadro 2: Tecnologias de comunicação de AGV's

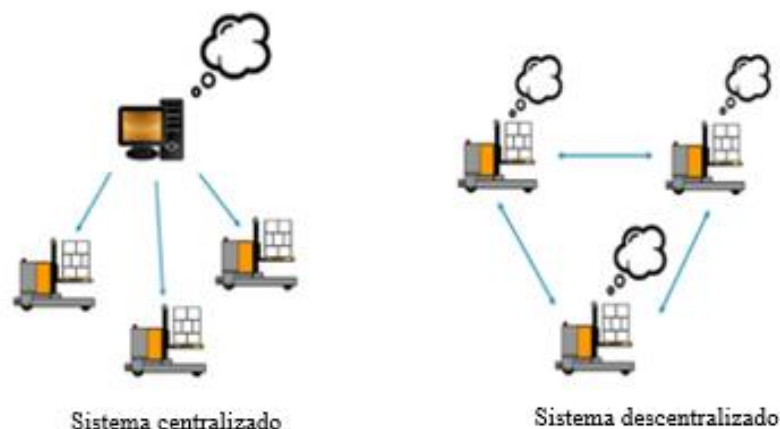
Tecnologia	Características
Rádio	Necessita de antenas e de uma frequência segura de comunicação para evitar interferências.
Infravermelho	Mais recomendada para sistemas pequenos, exige pontos de transmissão espalhados pelo circuito.
Fio Guia	O mesmo cabo que é responsável pela orientação faz a comunicação. Este sistema não é flexível a adequações de <i>layout</i> das rotas.
Circuitos de Indução	Circuitos enterrados no caminho dos AGV's criam um campo magnético capaz de se comunicar com o AGV.
Wi-fi	Método mais comum pela simplicidade de instalação e manutenção.

Fonte: Adaptado de Freitas (2018).

Os custos envolvidos e a capacidade de mudanças e ampliações devem ser considerados nas escolhas de orientação e comunicação do sistema AGV para que haja retorno produtivo e financeiro.

2.2.1.3 Controle

Os AGV's podem estar conectados a controladores que direcionam suas ações e, assim, um sistema de gerenciamento que atua em suas ações se faz necessário. De Ryck, Versteyhe e Debrouwere (2020) informam que atualmente a maioria dos sistemas AGV's operam com controle centralizado, onde uma central controla todo o sistema, contudo também apontam uma tendência de descentralização, onde os veículos tomam as decisões de maneira individual. Estas decisões favorecem a escala, a flexibilidade e a robustez. Le-Anh e De Koster (2006) discutem sobre o assunto, acrescentando que, como é um veículo inteligente, a tomada de decisões de forma descentralizada permite ao veículo um grande potencial de inferência nas operações, consentindo aprendizagem e adaptação por parte destes. De Ryck, Versteyhe e Debrouwere (2020) expõem que sistemas descentralizados têm a capacidade de prever as tarefas futuras, fazendo com que todos os movimentos dos AGV's sejam otimizados, levando em consideração tarefas posteriores. A figura 3 mostra um esquema de comunicação diferenciando os sistemas de controle centralizado e descentralizado.

Figura 3: Sistemas de comunicação de controle de AGV's

Fonte: De Ryck, Versteyhe e Debrouwere (2020).

Um sistema AGV é complexo, principalmente por conta da interatividade com o processo. Assim, para extrair seu maior potencial é necessário uma série de critérios. Neradilova e Fedorko (2017) designam estes critérios como gerenciamento de banco de dados, uso de simulação computacional, rotas, controle de informação e uso de tecnologias como RFID (*Radio Frequency Identification*). A tecnologia de RFID é bem explorada nos trabalhos de Lu et al. (2017, 2018). Cui, Wang e Jan (2019) dizem que os AGV's são capazes de se agendarem em relação à coleta e à movimentação de cargas de maneira autônoma, mas também fazem a referência a um *start* manual. Estes fatores podem reduzir riscos e situações de crise. A possibilidade de informação em tempo real é uma das características mais exploradas dos AGV's.

2.2.1.4 Roteamento

Para alcançar a máxima eficiência de um sistema AGV, é crucial que esses veículos realizem a entrega da carga utilizando o caminho mais curto possível (Cui; Wang; Jan, 2019). Le-Anh e De Koster (2006) explicam que um sistema de roteamento determina quando, onde e como os AGV's buscarão as cargas, além de definir qual caminho será percorrido e a sequência de trabalho a ser realizada. Algoritmos são desenvolvidos para garantir que as decisões se baseiem em prioridades e nos caminhos mais curtos, evitando congestionamentos e *deadlock*. Qiu et al. (2002) afirmam que configurar um sistema AGV se torna mais desafiador à medida que a frota cresce. Além dos algoritmos, Lu et al. (2017) discutem a importância do controle de posicionamento e navegação dos AGV's, enfatizando que a determinação precisa da localização de um AGV tem amplas implicações para todo o sistema de manufatura.

Fazlollahtabar e Saidi-Mehrabad (2013) e Vis (2006) exploram a importância do roteamento, da programação e do despacho, destacando que um alto nível de controle desses aspectos é necessário para o funcionamento eficiente de um sistema AGV. Segundo Benzidia et al. (2019), o roteamento dos AGV's pode ser visto como uma questão estratégica, o dimensionamento dos veículos como uma questão tática e problemas com o *deadlock* como uma questão operacional. Fazlollahtabar e Saidi-Mehrabad (2013) ressaltam que os AGV's que seguem rotas sem conflitos alcançam mais rapidamente seus destinos. Kumbhar, Thombare e Salunkhe (2018) e Vis (2006) também justificam que o desempenho das operações impacta economicamente, principalmente porque as atividades de transporte não agregam valor.

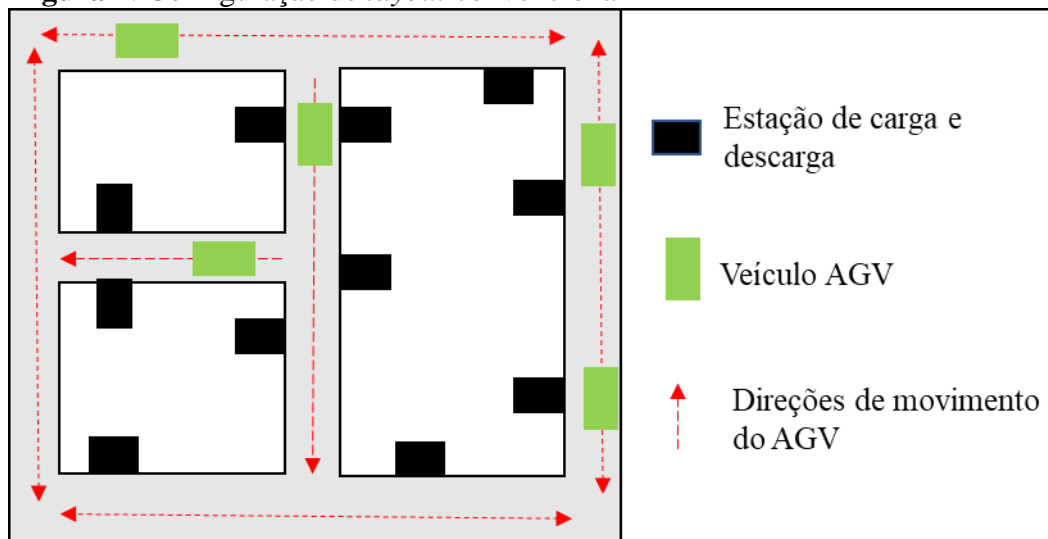
Os AGV's podem se deslocar em uma rede formada entre pontos de coleta e entrega, utilizando caminhos unidirecionais ou compartilhando o mesmo caminho em ambos os sentidos. Vis (2006) nomeia esses caminhos como unidirecionais e bidirecionais, apresentando também a possibilidade de um circuito misto. Caminhos unidirecionais são caracterizados pela simplicidade das regras nos algoritmos de movimentação, indicando a impossibilidade de bloqueio do lado oposto da rota (Vis, 2006). Em relação aos caminhos bidirecionais, Hsueh (2010) apresenta uma opção de troca de cargas entre AGV's, permitindo o fluxo nos caminhos guias, aumentando o desempenho. Qiu et al. (2002) afirmam que, comparados com os sistemas AGV de caminho unidirecional, os caminhos bidirecionais oferecem vantagens superiores em termos de utilização de veículos e eficiência das operações.

Alguns autores categorizam os métodos de roteamento como métodos estáticos (Qiu et al., 2002, Vis, 2006), nos quais o caminho permanece ocupado até que o AGV complete a entrega no destino; os métodos baseados em janela de tempo (Qiu et al., 2002) como métodos em que partes do caminho são liberadas para outros AGVs; e os métodos dinâmicos (Gola; Kłosowski, 2019, Qiu et al., 2002, Vis, 2006) como aqueles que tomam decisões de rota enquanto o AGV está em movimento a cada bifurcação, diferenciando-se dos dois métodos anteriores (Qiu et al., 2002). Mohammadi e Shirazi (2019) descrevem em seu estudo um algoritmo de roteamento que opera o AGV até a próxima bifurcação e assim sucessivamente até que o veículo alcance seu destino. Caminhos fixos e predeterminados também podem ser definidos para reduzir o congestionamento de veículos (Kesen; Baykoç, 2007). Bechtsis et al. (2017) explicam que, para locais com limitações de espaço, a opção por caminhos bidirecionais é necessária, o que exige regras mais complexas de tráfego, em oposição às rotas unidirecionais, que são mais simples de projetar.

Diversos tipos de *layout* são empregados na concepção da construção dos caminhos guia em um sistema AGV, incluindo o convencional, o *loop* único, as configurações em tandem e as

configurações de fluxo segmentado, como discutido em trabalhos anteriores (Bozer; Srinivasan, 1991, Hsueh, 2010, Kumbhar; Thombare; Salunkhe, 2018, Le-anh; De Koster, 2006). No sistema convencional existem cruzamentos, atalhos, caminhos paralelos, todos com fluxo tanto unidirecional quanto bidirecional, e todos os veículos têm acesso a todos os pontos de coleta e entrega (Bozer; Srinivasan, 1991). A figura 4 sintetiza o *layout* definido como sistema convencional.

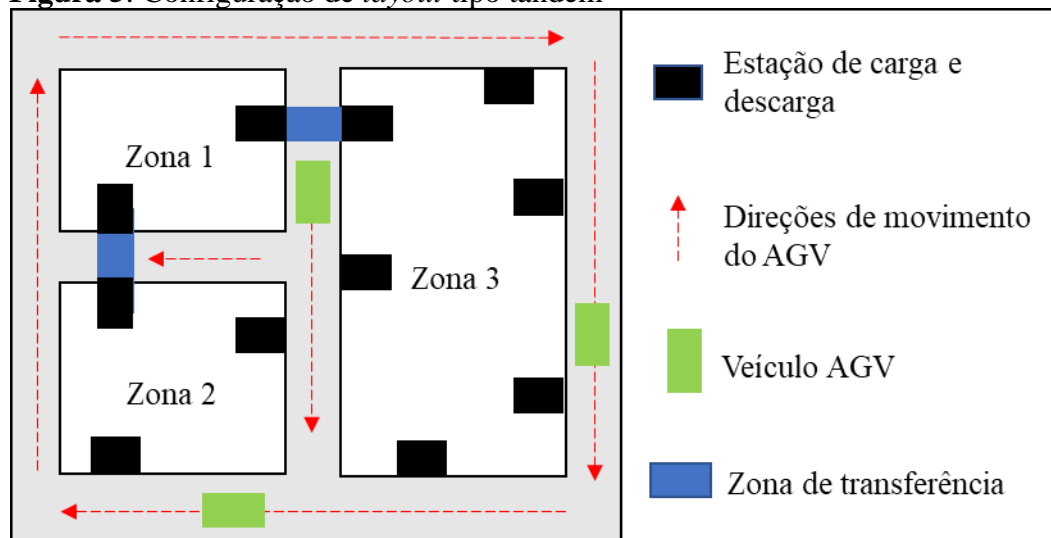
Figura 4: Configuração de *layout* convencional



Fonte: Autoria própria.

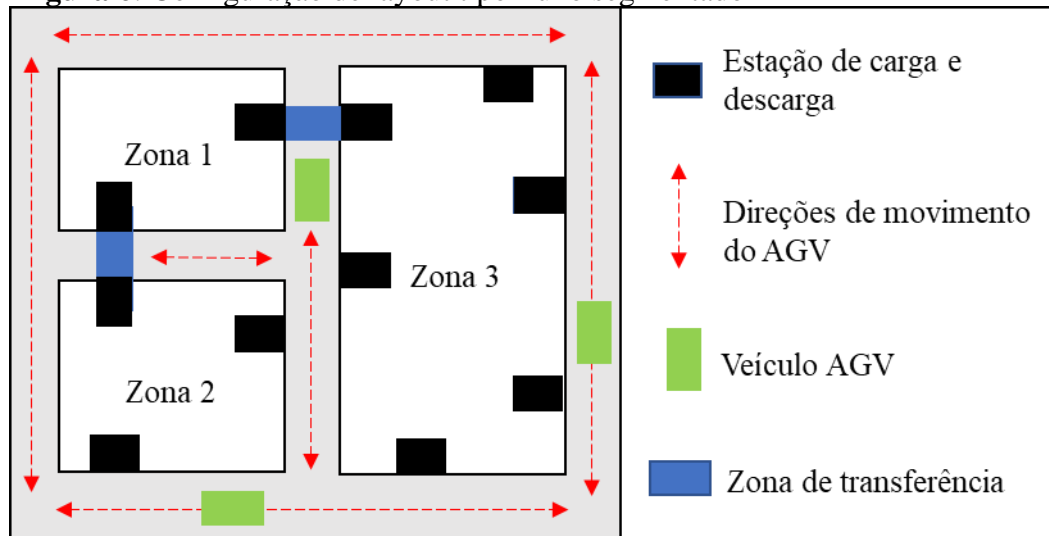
Hsueh (2010) e Vis (2006) também explicam sobre o *layout* de *loop* único, que é uma sequência fixa dos centros de processamento, sempre executada por rotas unidirecionais, o que possibilita menos complexidade nos algoritmos de roteamento, já que as possibilidades de bloqueios só são possíveis na operação de carga e descarga do veículo. Hsueh (2010) também explica as desvantagens que se referem a quebra de um veículo, tornando a rota inutilizável e ocasionando um excesso de movimentação, uma vez que para retornar ao mesmo ponto, o veículo precisa percorrer o caminho inteiro. Um *layout* de configuração em tandem consiste em *loops* de veículo único não sobrepostos com estações de transferência de carga entre eles (Ho; Hsieh, 2004, Hsueh, 2010, Le-anh; De Koster, 2006). Le-Anh e De Koster (2006) afirmam que *layouts* do tipo tandem são mais frequentes em empresas de manufatura por conta da disposição de *layout* celular em sua concepção e que um veículo AGV muitas vezes transferirá sua carga a outro AGV para que a entrega da carga seja realizada. A figura 5 apresenta um esboço simples de uma configuração tandem.

Figura 5: Configuração de *layout* tipo tandem



Fonte: Autoria própria.

O *layout* de fluxo segmentado ou SFT (*segmented flow topology*) é muito similar à configuração de *layout* tandem, que consiste em zonas independentes onde cada zona é separada em segmentos não sobrepostos. Assim, cada AGV é exclusivo a sua rota e quando há a necessidade de entrega de carga fora da sua rota, o AGV transfere a carga para outro AGV que dá sequência ao transporte (Hsueh, 2010); existem *buffers* de transferência nas extremidades de cada segmento, e todo *buffer* deve servir dois segmentos simultaneamente, e uma outra característica importante é que o veículo pode seguir nos dois sentidos (Sinriech; Tanchoco, 1997). O layout de fluxo segmentado “combina estruturas de fluxo simples, caminhos mais curtos, fluxo bidirecional, operação de transporte mutuamente exclusiva” (Sinriech; Tanchoco, 1997, p.323). A figura 6 expressa a configuração de layout em configuração de fluxo segmentado.

Figura 6: Configuração de layout tipo fluxo segmentado

Fonte: Autoria própria.

Inúmeras possibilidades de criar regras para o controle de tráfego dos AGV's são possíveis. Gola e Klosowski (2019), por exemplo, criam uma lógica em que a intensidade do sinal de *start* para o AGV define o grau de prioridade do transporte. Muitos autores utilizam este método incluindo nos algoritmos lógica *fuzzy*. Gomide, Gudwin e Tanscheit (1995) definem a lógica *fuzzy* como uma lógica que suporta os modos de raciocínio que são aproximados ao invés de exatos; modelagem e controle *fuzzy* de sistemas são técnicas para o tratamento de informações qualitativas de uma forma rigorosa. Os autores ainda direcionam a aplicabilidade da lógica *fuzzy* em uma lógica base para o desenvolvimento de métodos e algoritmos de modelagem e controle de processo, simplificando a solução de problemas.

As regras que regem o trânsito dos veículos AGV's podem apresentar, em algum momento, e/ou sob algumas condições, impasses que têm a capacidade de travar o fluxo de veículos, e este impasse é chamado de *deadlock*. Moothy et al. (2003) explicam que a retomada do fluxo fica interrompida até que uma intervenção externa seja realizada. Le-Anh e De Koster (2006) advertem que o *deadlock* pode colapsar e bloquear o sistema AGV e eles sugerem a utilização de rotas de *loop* único e tandem como uma opção de solução. Outro fator muito importante que se deve programar no roteamento de AGV's é a sua posição quando não há tarefas a executar, pois veículos ociosos estacionados em entradas e saídas de estações de trabalho podem contribuir com situações de *deadlock* (Felko, 2011). Vis (2006) anexa que a prevenção de colisões e *deadlock* devem ser planejados e que sensores anexados aos AGV's têm a capacidade de interpretar e fazer com que os AGV's evitem estas situações, redirecionado previamente as rotas ou os posicionando em áreas de *buffer*. Para Felko (2011), os *deadlock* devem ser planejados e evitados, principalmente por meio do *layout* dos caminhos e de

algoritmos capazes de prever situações de impasses, e essas práticas podem ser testadas e comprovadas por meio da simulação.

Para o conteúdo citado nesta seção, o quadro 3 apresenta um resumo com os principais aspectos ligados ao roteamento.

Quadro 3: Resumo dos aspectos importantes para roteamento

Aspectos	Inferência no sistema
Algoritmos	Permitem o fluxo dos veículos sem interrupções.
Navegação	Permite a localização do veículo no ambiente.
Caminhos unidirecionais	Ideais quando há espaço em abundância para tráfego dos veículos.
Caminhos bidirecionais	Ideais quando há espaço limitado para tráfego dos veículos.
Construção de caminho guia	Define o comportamento central dos veículos baseado no <i>layout</i> arquitetado para fluxo, sendo eles convencional, <i>loop</i> único, tandem e fluxo segmentado.
<i>Deadlocks</i>	Impactam negativamente no fluxo dos veículos, ocasionando bloqueios nos trajetos.
Ociosidade	Pode impactar negativamente se não houver áreas planejadas de <i>buffer</i> ou carregamento de bateria.
<i>Buffer</i>	Áreas planejadas para acondicionamento de materiais a espera de transporte, áreas para manuseio de materiais e áreas estratégicas para evitar <i>deadlocks</i> .

Fonte: Autoria própria.

2.2.1.5 Desempenho

O desempenho do AGV está diretamente ligado à arquitetura do sistema. Um sistema AGV deve ser dimensionado com a finalidade de atender os requisitos desejados. Para tanto, é necessário estudos de performance de processo constantes capazes de fornecer informações que permitam a criação de indicadores de controle.

Muito importante também é o controle de desempenho do sistema AGV. Berman, Schechtman e Edan (2009) e Kumar et al. (2015) trazem em seus estudos fatores a serem avaliados em um sistema AGV, como performance, frequência de impasses, viagens sem adaptação de rotas, taxa de transferência, estoque em processo, distâncias percorridas, capacidade de flexibilização e administração do sistema.

Na arquitetura de sistemas AGV's, Vis (2006) explora a importância das regras de decisões utilizadas para a condução dos AGV's nos caminhos guia, expondo que o aumento do desempenho pode estar entre 10% a 25%.

2.2.1.6 Interação Humana com AGV

A implantação do AGV sob diversas aplicações substitui a mão de obra humana, provendo confiabilidade, agilidade e custo. Almeida et al. (2019) e Benzidia et al. (2019) redesenham a questão da interação humana com o transporte, afirmando que, com a inclusão de AGV's, a mão de obra antes utilizada na movimentação tende a ser realocada para melhores funções, além da redução do absenteísmo e da rotatividade no departamento logístico e do efeito de criar uma cultura voltada às equipes envolvidas com as aplicações. Ainda assim, faz-se necessária uma interação com mão de obra especializada capaz de lidar com problemas ocasionados por impasses no roteamento e na manutenção (Fragapane et al., 2019). Benzidia et al. (2019) ainda complementam que os AGV's trazem benefícios ergonômicos aos colaboradores, além da redução de acidentes de trabalho.

A gestão também recebe muitos benefícios com a interação do AGV com os processos. A capacidade de dados em tempo real (Fazlollahtabar; Saidi-mehrabad, 2013) permite ações, correções e prevenções em tempo de preservar os fluxos nos processos. Foit, Golda e Kampa (2020) mencionam sobre a importância de indicadores de desempenho para a organização e enfatizam que as medidas de desempenho fornecem uma avaliação nos aspectos de serviço e custo. Para Benzidia et al. (2019), a gestão também adquire um novo desafio, pois deverá conduzir situações operacionais associadas à tecnologia. Fazlollahtabar e Saidi-Mehrabad (2013) fazem referência à obtenção de indicadores de forma rápida e explícita. O AGV força a especialização desta mão de obra antes usada para movimentação, para controle, manutenção e gestão.

2.2.2 Aplicações

Os AGV's podem ser encontrados em praticamente qualquer área de produção industrial, comércio, serviços e mesmo no ramo militar (Freitas, 2018). Mais comum no ambiente industrial, Chen e Tiong (2019) apresentam a aplicabilidade do AGV em manufatura modular, na qual os AGV's transportam os trabalhos em processos entre as estações da fábrica, e o grande benefício é a comunicação e a posição de cada AGV para o controle da produção.

A flexibilidade dos AGV's permite a sua utilização nas mais variadas aplicações, capazes de não somente de fornecer transporte objetivando melhoria de performance e confiabilidade, mas também em ambientes nocivos para vida humana, seja por temperatura, pela presença de microrganismos, pelo convívio com tráfego de máquinas pesadas, entre outros.

Fragapane et al. (2020) indicam algumas aplicabilidades para os AGV's, como desinfecção de ambientes, aplicabilidade em telemedicina e assistência de orientação.

2.2.3 Design de sistema AGV

O *design* de um sistema AGV deve satisfazer os requisitos necessários para atender o propósito no qual o sistema é sugerido, de modo que muitos detalhes devem ser considerados. Fazlollahtabar e Saidi-Mehrabad (2013), Kumbhar, Thombare e Salunkhe (2018), Le-Anh e De Koster (2006) e Vis (2006) definem as principais características encontradas nos *designs* de sistemas AGV's: rotas, dimensionamento, programação, tempo de ociosidade, gerenciamento de bateria, resolução de impasses, tipo de piso, determinação do caminho-guia, pontos de coleta, requisitos necessários ao veículo, gerenciamento de falhas, *layout* e padronização de cargas. Esses requisitos impactam o outro, tornando maior a complexidade da arquitetura de um sistema AGV (Vis, 2006).

O tipo do AGV utilizado é uma das primeiras escolhas para o *design* do sistema, que deve ser adequado para a aplicação, podendo ser necessário ou não automações capazes de carga e descarga de produtos. A quantidade de AGV's utilizados também se torna um fator importante porque reflete diretamente no custo de implantação envolvido (Le-anh; De Koster, 2006, Senaras, 2019, Vis, 2006). Um cuidado com os aspectos de infraestrutura física deve ser muito bem avaliado para que se obtenha os resultados projetados, como áreas de *buffer*, que são áreas livres paralelas à rota principal; e o tipo do piso que pode impactar na movimentação dos veículos. Lei et al. (2017) propõem em seu trabalho uma solução capaz de adaptar, por meio da suspensão, os veículos para ambientes internos e externos; portas no meio do trajeto podem ser um contratempo no fluxo dos AGV's, entre outras particularidades que cada ambiente pode apresentar. É necessário certa expertise para tirar proveito do *layout* existente do ambiente a ser explorado, a fim de beneficiar os caminhos utilizados pelos AGV's, sempre objetivando encurtar distâncias sem prejuízo à rotina de manufatura (Bechtsis et al., 2017, Kesen; Baykoç, 2007, Le-Anh; De koster, 2006, Seha; Zamberi; Fairu, 2017, Vis, 2006). Le-Anh e De Koster (2006) relatam que não existe um modelo unânime para o dimensionamento de frota, contudo, um estudo prévio de simulação é capaz de auxiliar no tamanho da frota.

O roteamento se destaca como um dos fatores mais complexos a ser considerado no *design* de sistemas AGV's. O roteamento é construído por algoritmos que regem o trânsito, baseado nas características do ambiente onde os veículos serão inseridos. O Quadro 4 sintetiza os aspectos sugeridos pelos autores para a modelagem de um sistema AGV.

Quadro 4: Aspectos para arquitetura de um sistema AGV

Autores/Aspectos	Investimento	Redução de custo operacional	Flexibilidade	Manutenção	Tecnologia de informação	Rotas	dimensionamento de frota	Ociosidade de AGV	Gerenciamento de bateria	Regras de condução	Layout	Buffer	Velocidade do AGV	Controle de produção	Tipo do AGV	Simulação
Almeida et al. (2019)	X		X		X	X								X		
Bechtsis et al. (2017)		X			X	X	X			X	X				X	X
Benzidia et al. (2019)	X	X	X	X	X	X			X							
Cui, Wang, Jan (2019)	X	X			X	X	X			X				X		X
Fazlollahtabar e Saidi-Mehrabad (2013)	X		X		X	X	X	X		X	X	X	X	X		X
Foit, Golda e Kampa (2020)		X							X				X	X		X
Fragapane et al. (2019)			X			X		X								X
Fragapane et al. (2021)																X
Fu et al. (2021)	X	X					X		X	X	X	X	X		X	X
Gola e Klosowski (2019)		X	X		X	X	X	X		X	X		X			X
Hsueh (2010)						X										
Kabir e Suzuki (2018)			X						X							X
Kabir e Suzuki (2019)						X			X	X				X		X
Kesen e Baykoç (2007)						X										X
Kumbhar, Thombare e Salunkhe (2018)	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X		X			X
Le-Anh e De Koster (2006)		X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Lee, Park e Kim (2019)			X											X		X
Li e Kuhl (2017)	X	X	X			X	X			X	X		X		X	X
Martínez-Gutiérrez et al. (2021)			X		X	X			X				X			X
Mohammadi e Shirazi (2019)		X	X	X		X				X			X			X
Felko (2011)		X	X			X		X		X						X

Fonte: Autoria própria.

Quadro 4: Aspectos para arquitetura de um sistema AGV (Continuação)

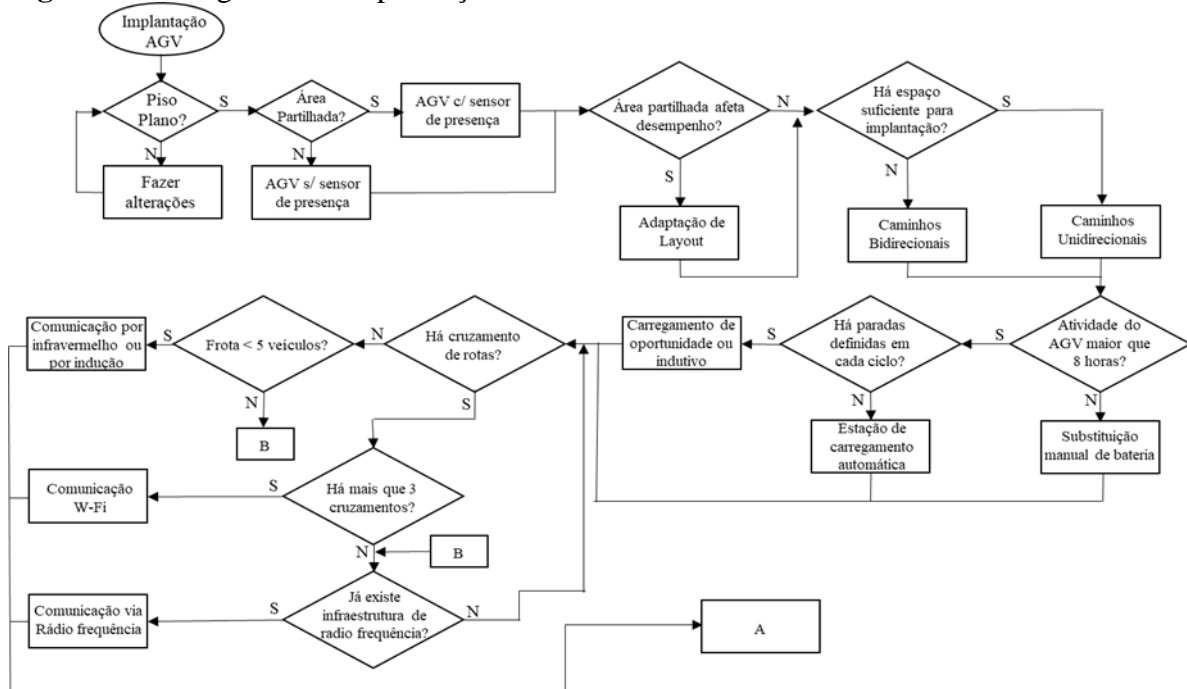
Autores/Aspectos	Investimento	Redução de custo operacional	Flexibilidade	Manutenção	Tecnologia de informação	Rotas	dimensionamento de frota	Ociosidade de AGV	Gerenciamento de bateria	Regras de condução	Layout	Buffer	Velocidade do AGV	Controle de produção	Tipo do AGV	Simulação
Neradilova e Fedorko (2017)		X			X					X	X		X	X	X	X
Nunes e Barbosa (2020)		X	X			X					X					X
Qiu et al. (2002)			X		X	X	X			X	X					
Seha, Zamberi e Fairu (2017)				X		X					X	X				X
Senaras (2019)	X						X						X			X
Um, Cheon e Lee (2009)							X			X	X	X	X			X
Vis (2006)	X				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Witczac et al. (2020)		X	X			X				X						X
Xiao et al. (2020)						X		X		X		X	X			X
Yao et al. (2020)			X				X		X	X	X	X	X		X	X
Somatória	9	14	17	3	12	22	13	8	10	18	14	8	15	9	7	27

Fonte: Autoria própria.

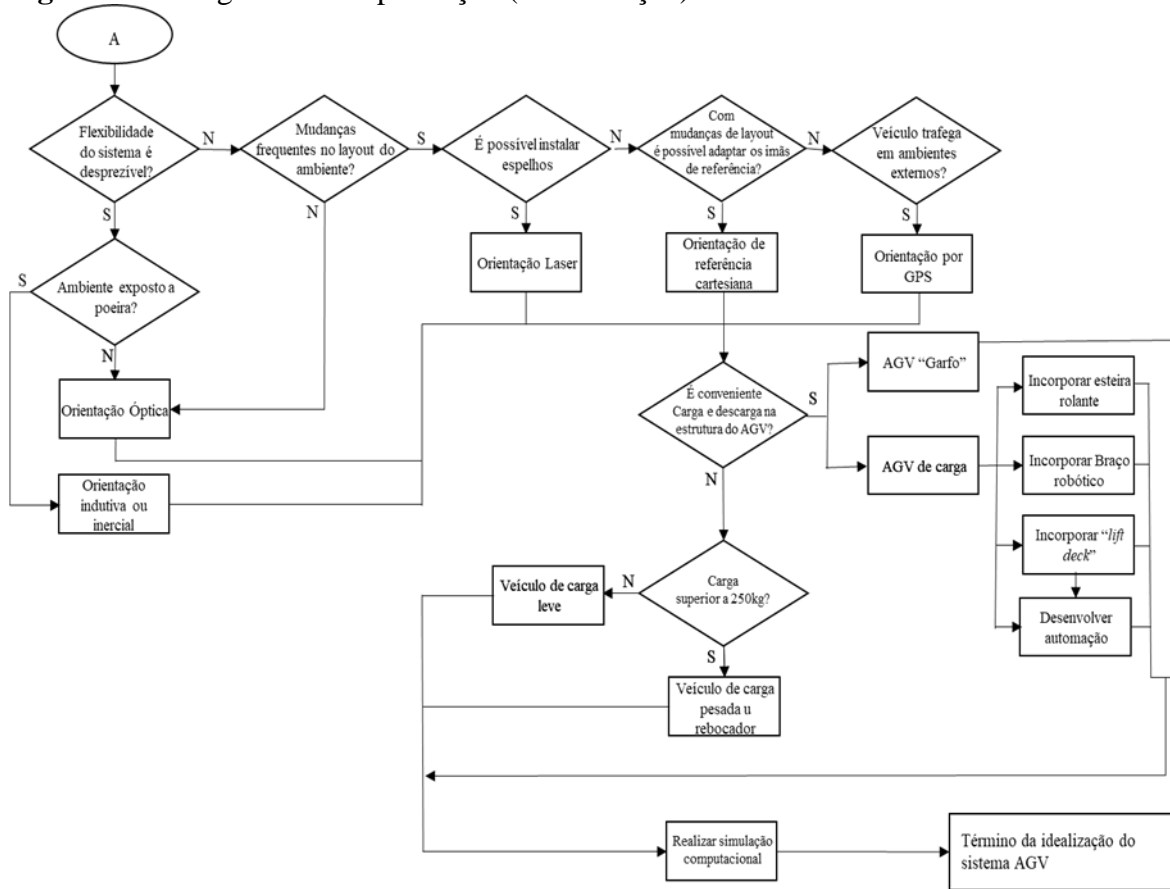
Este quadro agrupa aspectos em que os autores, mesmo que de forma sucinta, expressam a importância de se considerar a modelagem de um sistema AGV. Um *design* de sistema AGV deve percorrer estes itens a fim de provisionar mudanças necessárias no ambiente para a inserção dos veículos nos processos, extraindo, assim, sua melhor capacidade de beneficiar a produtividade e de reduzir custos, pois um *design* mal desenhado pode gerar atrasos no *start-up*, gasto de recursos não previsto para adequação, produtividade abaixo do previsto ou prejuízo na produtividade.

Baseado no fluxograma de implantação apresentado no estudo de Freitas (2018), a figura 7 apresenta uma visão atualizada sobre a implantação de sistema AGV. Este fluxo é um guia para que nenhum detalhe importante seja esquecido ou desmerecido na concepção de um projeto AGV, contudo, pode não ser uma regra para todos os casos, uma vez que existem particularidades de cada processo e o surgimento de novas tecnologias desenvolvidas para os veículos AGV's estão em constantes aprimoramentos.

Figura 7: Fluxograma de implantação



Fonte: Adaptado de Freitas (2018).

Figura 7: Fluxograma da implantação (Continuação)

Fonte: Adaptado de Freitas (2018).

2.2.4 Simulação

Para serem bem-sucedidas, as empresas devem ser flexíveis e capazes de responder rapidamente a estas mudanças no mercado, de modo que a modelagem e a simulação de processos sejam mais populares nos mais diversos ramos de negócio (Da Silva et al., 2011). O emprego da simulação é normalmente utilizado em sistemas complexos provindos de natureza dinâmica e aleatória. Para estes casos, os modelos de simulação capturam com mais fidelidade estas características e processam estas condições submetendo a resultados previstos (Chwif; Medina, 2006). Nunes e Barbosa (2020) discutem que a abordagem da simulação no planejamento dos processos de manufatura permite a integração do projeto virtual com a situação real, possibilitando a vantagem de avaliação e modificações de diferentes aspectos antes da implantação. E simplificando o significado de simulação, Banks (1998) e Senaras (2019) a descrevem como uma das ferramentas de análise mais poderosas, responsável pelo planejamento de operações complexas, capaz de minimizar riscos na tomada de decisão.

Mais especificamente ligado ao AGV, Bechtsis et al. (2017) e Fragapane et al. (2021) explicam que ferramentas de simulação podem auxiliar na avaliação de desempenho potencial dos sistemas AGV's, além de fornecer *insights* pré-implantação. “A simulação mostra que a estratégia de coordenação pode maximizar o rendimento do veículo e minimizar o tempo que os veículos gastam negociando o tráfego em diferentes cenários” (Fragapane et al., 2021, p.26). Neradilova e Fedorko (2017) exaltam a confiabilidade dos processos de simulação dentro do contexto I4.0.

O baixo custo frente aos investimentos para a inserção do AGV em transportes de produtos faz do emprego da simulação uma ferramenta muito importante na concepção de sistemas AGV, capaz de provisionar o ganho produtivo antes do investimento. Foit, Golda e Kampa (2020) e Yao et al. (2020) afirmam que a simulação por computador permite a elaboração e o teste de forma simplificada dos sistemas de manufatura e logística, e adverte que a simplificação em excesso pode não traduzir a realidade de forma adequada, por isso se faz necessário seriedade e competência na etapa de concepção e de projeto de simulação (Foit; Golda; Kampa, 2020, Fragapane et al., 2021).

Ao materializar a teoria no ambiente prático, Pedan, Gregor e Plinta (2017) apresentaram um estudo de simulação com a finalidade de implantar AGV's em um hospital da Eslováquia. O estudo concluiu, por meio da simulação, uma economia de tempo destinada à movimentação de medicamentos, resíduos e alimentos em 23,96%. Seha, Zamberi e Fairu (2017) também apresentaram resultados interessantes nas simulações no emprego de AGV's em uma empresa automotiva da Malásia, que proporcionou um aumento de 31% na produção. Em ambos os exemplos de ganho na produtividade é enfatizado a capacidade de decisão que o processo de simulação propicia. Dados fundamentados transmitem segurança na tomada de decisão e encurtam a probabilidade de erros. Um ponto a ser sempre considerado é que ganhos de produtividade nas simulações de AGV's podem não ser o suficiente para justificar o investimento na implantação destes sistemas; o trabalho de Pedan, Gregor e Plinta (2017) mostra que apesar de ganhos de 23,96% de economia de tempo, isso não foi o suficiente para o investimento nos AGV's nesta situação.

2.2.4.1 Estatística aplicada na simulação

Faz parte do cotidiano das empresas, que são vigas mestras da economia, a utilização de parâmetros estatísticos para tomada de decisão, sendo esta um aliado na gestão de organizar, dirigir e controlar as empresas (Crespo, 2009). Em sua essência, a estatística é a ciência capaz

de fornecer condição para coleta, organização, descrição, análise e interpretação de dados visando a tomada de decisão (Costa Neto, 2002, Crespo, 2009). Nos estudos de simulação relacionados a processos produtivos, a estatística é essencial para a validação dos modelos, pois é capaz de medir a aleatoriedade dos eventos estudados e, assim, definir sua distribuição, com o intuito de prever a frequência em que os eventos se desenvolvem ao longo do tempo. Aspectos estatísticos são importantes para o entendimento dos modelos.

Segundo Chwif e Medina (2006), a maioria dos estudos de simulação possuem fenômenos aleatórios que os governam, os quais são construídos a partir da observação e do levantamento de dados para a construção de um modelo que represente da forma mais fiel possível a situação real. Estes mesmos autores resumem em 3 etapas a modelagem de dados: a coleta de dados, o tratamento dos dados e a inferência.

Na etapa de coleta de dados, Chwif e Medina (2006) indicam a escolha adequada das variáveis de entrada. Assim, para construir uma amostra representativa deve-se caracterizar cuidadosamente a população de interesse; todos os fatores que influenciam no comportamento da amostra devem ser considerados, como a sazonalidade, por exemplo. Segundo Vicent (1998), uma amostra deve estar entre 100 e 200 observações, justificando que amostras inferiores a 100 observações têm a capacidade de comprometer a identificação do melhor modelo probabilístico e amostras superiores a 200 observações não trazem ganhos significativos ao estudo. Vicent (1998) também explana sobre a importância de realizar observações na sequência de ocorrência.

A segunda etapa compreende o entendimento do fenômeno estudado. Nesta fase, deve ser extraído, das amostras observadas, dados de posição - como média, mediana e moda - e de posição de dispersão, como amplitude e desvio padrão. Chwif e Medina (2006) advertem sobre a presença de erros e eventos incomuns e inesperados nos quais se definem os *outliers*, que devem ser cuidadosamente avaliados. Crespo (2009) frisa a importância da crítica aos dados obtidos, sempre objetivando encontrar possíveis falhas e imperfeições capazes de interferir nos resultados. Vicent (1998) complementa que toda suspeita deve ser comprovada ou descartada estatisticamente. Ainda nesta etapa, deve-se verificar se existe a correlação entre as observações que compõem a amostra (Chwif; Medina, 2006).

Na fase de inferência, a distribuição de probabilidade que mais representa a população deve ser identificada, a qual qualifica com teste de aderência (Chwif; Medina, 2006). Alguns autores explicam que a distribuição estatística pode ser testada por meio de um teste de aderência que vai validar se o modelo realmente representa a distribuição da população (Chwif; Medina, 2006, Costa Neto, 2002). Em resumo, este teste confirma se os dados que compõem o

modelo aderem aos dados da amostra. Os testes clássicos de aderência são o teste Qui-Quadrado e o teste de *Kolmogorov-Smirnov*, que são pertencentes a categoria dos testes não-paramétricos, pois se referem a forma da função, não aos seus parâmetros (Chwif; Medina, 2006). Costa Neto (2002) acrescenta a verificação gráfica como um terceiro método de teste de aderência. Para o auxílio do tratamento de dados e confiabilidade dos resultados, é comum a utilização de *softwares* especialistas. O *software* Flexsim® incorpora a ferramenta *Expertfit*, que permite tratamento estatístico de dados com a finalidade de encontrar a curva de distribuição estatística, permitindo uma maior confiabilidade nos dados de parametrização na simulação (Mamede, 2017). Assis e Lage Júnior (2022) citam os *softwares* *Design Expert*, *Minitab* e *Matlab* como apoio ao tratamento de dados estatísticos.

A partir do momento que o modelo de simulação se torna operacional, a estatística se faz muito presente para a análise do comportamento dos dados de saída do sistema, provendo parâmetros capazes de replicar a realidade com a maior fidelidade possível. Assim, faz-se necessário a determinação da variância estimada e quantas observações se devem realizar para que se atinja a precisão desejada.

2.2.4.2 Flexsim®

O Flexsim® é um *software* especialista em simulação, que, segundo Slaviero e Chiwacowsky (2022), é capaz de representar de forma digital os processos produtivos. Silva et al. (2015) descrevem o Flexsim® como um *software* flexível, que permite customizações para a visualização das atividades representadas. Ao dar mais ênfase no uso do Flexsim® como um instrumento à simulação, Assis e Lage Junior (2022) apresentam em seu estudo o Flexsim® ao lado do Arena® como os principais *softwares* utilizados na simulação para a solução de problemas na logística e na manufatura.

O Flexsim® apresenta recursos que possibilitam expressar o cenário de manufatura, logística, entre outros pretendidos. Dentre estes recursos, os destaques estão para os *fixed resources*, que são componentes fixos capazes de representar máquinas (*processors*, *combiners*, *separators* e *multiprocessors*); os espaços de armazenagem ou filas (*queue*); os pontos de criação e remoção de itens processados (*source* e *sink*); as esteiras transportadoras (*conveyors*); e os itens que são processados são chamados de *flow items*, que podem ser representados por caixas, produtos, clientes, entre outros. Também existem os *taskexecuters*, que são recursos capazes de representar a execução e movimentação dos *flow items*, e, dentre eles, destacam-se os operadores, guindastes, robôs, carros de separação, elevadores e empilhadeiras (*operators*,

cranes, robots taskexecuter, elevator e transporters respectivamente). O *software* não se limita a apenas estes recursos, mas dentre os principais, estão os citados.

Dentro de cada recurso, o *software* oferece inúmeras possibilidades de customização, podendo gerar identidade aos *flow items* criados (*triggers*), parametrizar tempos de processo, capacidade, *setup*, entre outros. O *software* também oferece possibilidades de interligar os fluxos na sequência que seja fiel ao processo reproduzido, criar regras de fluxo para os produtos processados (*flow items*) por meio de *labels*, que são identidades específicas que se dão aos *flow items*. Os recursos e as customizações vão além das citadas, podendo se adequar a representar, da melhor forma, o cenário pretendido.

2.2.5 AGV no futuro

A capacidade e aplicabilidade dos AGV's evoluem com o passar do tempo e experiências, por isso espera-se que cada vez mais eles sejam capazes de realizar mais atividades, de maneira mais produtiva e independente. De Ryck, Versteijhe e Debrouwere (2020) projetam a grande importância que o transporte terá nas fábricas do futuro, incluindo a capacidade dos AGV's de realizarem algumas tarefas. Para a melhoria e confiabilidade dos processos, Dos Reis e Morandin Junior (2021) apontam uma utilização futura nos AGV's quanto a câmeras, radares e sensores de ultrassom.

Fragapane et al. (2021) já apontam essa tendência de evolução dos AGV's, na qual são denominados AMR (*Autonomous mobile robots*), os quais têm a capacidade de realizar tarefas e se comunicam de forma descentralizada. Esse mesmo trabalho exemplifica que os AMR's podem se deslocar rumo ao ponto de coleta antes que a operação de manufatura que resultará na carga coletada seja finalizada, e, assim, o tempo de deslocamento da unidade AMR até o ponto de coleta é encurtado. Os autores também citam que, para estudos e dimensionamentos de AMR's, o objetivo deve ser operar um sistema econômico, flexível, escalável, proativo e robusto.

A evolução da tecnologia traz flexibilidade, facilidade e eficiência nos AGV's, e um exemplo é a tecnologia de navegação. Fragapane et al. (2021) ilustram a evolução da navegação aplicada aos veículos autônomos e já classifica a orientação baseada na visão, que se caracteriza pela aplicação de sensores onipresentes com aliados à computação de bordo e IA aos AMR's. Ferramentas gerenciais também se beneficiam muito desta inundação de tecnologias aplicadas na movimentação de materiais. Lee, Park e Kim (2019) apresentam em seu estudo um sistema de gerenciamento 3D do fluxo de AGV no ambiente, o qual pode expressar uma melhor

percepção das operações de transporte, além de ter recursos de simulação para beneficiar a análise de possíveis alterações. Freitas (2018) apresenta em seu estudo aplicações de AGV's em evolução, como drones e helicópteros utilizados principalmente para fins militares, trens para fluxo em metrô, carros para transporte humano e embarcações marítimas destinadas a transporte de cargas e uso militar.

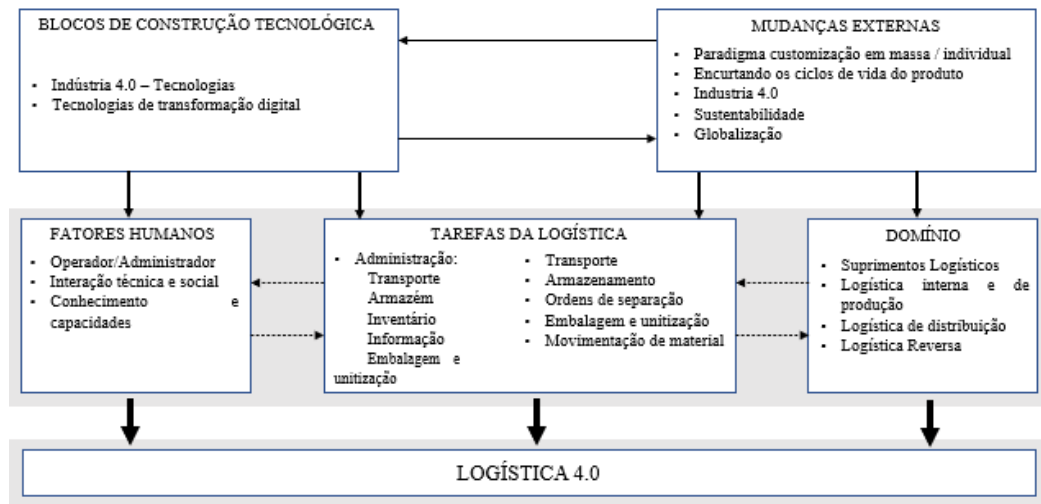
Os sistemas de automação ligados à I4.0 estão em constante evolução, e o que se espera são dispositivos cada vez mais autônomos e ágeis, com a capacidade de se adaptar a imprevistos, tomando decisões que preservem a segurança e a produtividade.

2.3 LOGÍSTICA 4.0

O uso eficaz do manuseio de materiais tem sido uma tarefa proficiente que sempre preocupa a indústria. Juntamente com a disponibilidade e o custo de mão de obra, sistemas semiautomáticos ou automáticos substituem o trabalho manual nas indústrias ao longo de várias décadas (Kumbhar; Thombare; Salunkhe, 2018). Assim, “um desenvolvimento recente em automação levou a criação de novas soluções em armazenamento e logística” (Bartkowiak et al., 2019, p.1). Assis e Sagawa (2018) complementam que a eficiência e a agilidade tornam as empresas mais competitivas por meio do benefício do emprego de ferramentas para o controle e gerência das operações.

O emprego de automação e utilização de informações de forma rápida resulta em aproveitar melhor os recursos à disposição, extraindo, assim, melhor produtividade. A logística é um setor com inúmeras oportunidades de aplicação de tecnologias que utilizam a informação como aliada nos processos produtivos. O trânsito de informações entre todos os atores da cadeia de suprimentos dá origem à informação que precisa ser armazenada e analisada em um repositório central com fácil acesso (Silva et al., 2021). Os mesmos autores fazem a arquitetura de um sistema *Big data* em seu estudo, onde apresentam detalhes desta construção, incluindo os principais desafios e oportunidades para a implementação de uma nova tecnologia na logística. Neste contexto, está incluso a logística 4.0, que pode ser definida como “o sistema logístico que permite a satisfação sustentável das demandas individualizadas dos clientes sem aumento de custos e que apoia esse desenvolvimento na indústria e no comércio usando tecnologias digitais” (Winkelhaus; Grosse, 2020, p.4). A figura 8 ilustra o conceito de Logística 4.0.

Figura 8: Conceito Logística 4.0



Fonte: Adaptado de Winkelhaus e Grosse (2020, p.4).

É possível observar que a figura 8 se resume na interação da rotina na logística com apoio a tecnologias e práticas administrativas. Neste contexto, os AGV's se encaixam fornecendo agilidade, flexibilidade, confiabilidade e rastreabilidade, permitindo, conforme a definição de logística 4.0, a satisfação do cliente por meio de interação, informação personalizada, e, conseqüentemente, desenvolvimento industrial aliado ao emprego de tecnologia com custos enxutos. Práticas de gestão e planejamento são importantes para a utilização dessas tecnologias na logística porque a maximização de benefícios vem juntamente com uma administração que envolve todos os aspectos da aplicação. Kumbhar, Thombare e Salunkhe (2018) contribuem com esta afirmação exemplificando que, para adotar ou desenvolver sistemas de manuseio de materiais, uma pesquisa minuciosa sobre o *layout* da fábrica, políticas de gerenciamento, *design* e sistemas amplamente disponíveis devem ser analisados criticamente. Os autores ainda complementam que, nos projetos, um dos maiores desafios é pensar na flexibilidade e na adequação do sistema.

3 MÉTODO DE PESQUISA

Segundo Marconi e Lakatos (2003), o método é o conjunto de procedimentos sistemáticos e pragmáticos que dão a possibilidade de atingir os objetivos seguindo um caminho, detectando erros e contribuindo para a tomada de decisão. Ainda consoante com Marconi e Lakatos (2003), métodos e técnicas devem se adequar ao problema a ser estudado.

Para a solução de movimentação e transporte neste posto de pintura especial, este estudo propõe dimensionar um sistema com AGV projetando seus ganhos traduzidos em produtividade. Esta solução tem motivação por parte da empresa para manter automático o transporte de produtos, assim como a dinâmica dos produtos no processo de pintura padrão que tem o transportador aéreo como meio, e também pelo fato de estar nacionalizando o AGV como parte do seu portfólio de produtos no Brasil.

A partir do contexto discutido, este trabalho se propõe a responder a seguinte questão de pesquisa:

Quais os benefícios esperados com a implantação de um sistema AGV para solucionar a movimentação de produtos acabados e peças partindo do posto de pintura especial?

A partir da questão de pesquisa foi proposto o seguinte objetivo de pesquisa: analisar os potenciais ganhos do transporte de produtos pintados partindo do posto de pintura especial por meio da inserção do AGV no processo de transporte.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Este estudo se caracteriza como uma abordagem quantitativa porque possibilita a captura de variáveis para o desenvolvimento da pesquisa com o intuito de mensurá-las (Miguel, 2010).

O método de pesquisa deste estudo é classificado como pesquisa experimental. Este tipo de pesquisa é descrito por Creswell (1994) como um método que objetiva obter as relações entre causa e efeito mediante a manipulação de variáveis independentes. Bachega (2013) explica que a simulação é um entre os procedimentos indicados para a condução da pesquisa experimental. A simulação imita o funcionamento de um sistema real e permite a manipulação das variáveis por meio de modelos matemáticos ou computacionais (Chwif; Medina, 2006, Miguel, 2010, Prado, 2009).

Para o entendimento do processo de simulação, a compreensão de modelo e sistema se tornam imprescindíveis. Sistema é o agrupamento de partes que operam juntas para atingir um objetivo; é a combinação de elementos que têm interação ou interdependência (Chwif; Medina, 2006, Forrester, 1968, Prado, 2009). Um modelo equivale à representação simplificada das diversas interações entre as partes de um sistema e sua idealização projeta uma realidade capaz de fornecer *insights* valiosos em *trade-off* básicos em nível gerencial (Banks, 1998, Bertrand; Fransoo, 2002, Chwif; Medina, 2006, Prado, 2009).

Sistemas complexos e provindos de natureza dinâmica e aleatória, os modelos de simulação capturam com mais fidelidade estas características e processam estas condições para oferecer resultados. Em resumo, “quanto mais complexo, dinâmico e aleatório for um problema, maior será a aplicabilidade das ferramentas de simulação” (Chwif; Medina, 2006, p.22). Uma justificativa ao uso do método de simulação se dá na inviabilidade da interferência com o sistema real por conta do alto risco de prejuízo em caso de fracasso e quando a aplicação ainda não existe, como no planejamento de uma fábrica, por exemplo (Banks, 1998, Prado, 2009).

Neste estudo será utilizado um modelo de simulação de eventos discretos, que, na concepção de Chwif e Medina (2006) e Banks (1998), são sistemas que mudam o seu estado em momentos discretos no tempo, partindo da ocorrência de eventos. Prado (2009) chama de sistemas discretos os sistemas constituídos de componentes inteiros.

A presente pesquisa também se caracteriza como empírica normativa porque é proposta a partir de uma situação existente onde a motivação é a solução de um problema com a finalidade de garantir um modelo ajustado capaz de fornecer uma melhor performance (Bertrand; Fransoo, 2002, Miguel, 2010).

A análise dos dados será guiada por meio de métodos estatísticos, principalmente para tratá-los e traduzi-los na linguagem do *software* que fará a simulação. O uso da estatística é uma prática comum nos estudos com abordagem quantitativa e no método de experimentação com utilização de simulação para condução da pesquisa. Modelos probabilísticos são responsáveis por representar a natureza aleatória das variáveis para definir a melhor representação deste fenômeno (Chwif; Medina, 2006).

A escolha da simulação se encaixa para a solução do problema deste estudo, confirmando que, para uma análise de viabilidade que exige um investimento considerável, é plausível o uso de simulação para prever e observar o comportamento desta aplicação, assim como para testar possibilidades sem que tenham impactos negativos tanto financeiro como produtivo para a empresa estudada (Banks, 1998, Miguel, 2010, Prado, 2009). Moreira (2017) contribui com esta pesquisa pelo fato de apresentar em sua dissertação um estudo com

referência ao uso de simulação para a implantação de um sistema AGV, apresentando a inserção do veículo em dois processos de uma empresa produtora de pneus, captando os promissores resultados e dimensionando a frota de veículos com o intuito de manter totalmente autônomo este transporte. O autor conclui ressaltando a importância da organização para a entrada do AGV no sistema e sobre os *insights* necessários para a construção dos modelos de simulação fiéis. O presente estudo tem semelhanças com a inserção do AGV proposta pelo autor em um dos processos, visto que também objetiva organizar, promover integração e confiabilidade ao processo. O trabalho de Silva (2015) também serviu de inspiração, pois ele constrói um sistema AGV para o transporte de resíduos, objetivando a eliminação de mão de obra para esta operação, provando financeiramente seu resultado. Este estudo, assim como o de Moreira (2017), expõe muito sobre as funcionalidades do sistema AGV e usa a simulação para captar os resultados projetados com a implantação do sistema. O estudo de Freitas (2018) oferece um guia para a entrada do AGV no sistema, expondo e esclarecendo técnicas e tecnologias disponíveis capazes de maximizar inúmeras aplicabilidades com o AGV.

3.2 VARIÁVEIS DA PESQUISA

Referente ao significado de variável, Marconi e Lakatos (2003, p.137) consideram “como uma classificação ou medida; uma quantidade que varia; um conceito operacional, que contém ou apresenta valores; aspecto, propriedade ou fator, discernível em um objeto de estudo e passível de mensuração”. Bertrand e Fransoo (2002) e Miguel (2010) explicam que modelos quantitativos compreendem variáveis de controle, que variam de um domínio específico, e variáveis de desempenho, que inferem na qualidade das decisões obtidas pelas relações causais e quantitativas entre estas variáveis. Todas as variáveis que interferem ou afetam o objeto em estudo devem ser controladas para impedir o risco de invalidar ou comprometer a pesquisa (Marconi; Lakatos, 2003). Para extrair as informações relevantes para o entendimento do modelo probabilístico, alguns dados se fazem necessários, como o *lead time* processo, que contabiliza os diversos tipos de pintura desde a chegada no posto de pintura até o próximo processo. O *lead time* é composto pelo tempo de pintura, *setup*, espera e movimentação dentro do posto de pintura especial; outra variável considerada é o tempo de espera do produto no *buffer* de saída do posto de pintura até o despacho para o próximo processo. Este tempo de espera é parte do *lead time* total, sendo o fator mais afetado com a automatização do transporte; a quantidade máxima de produtos registrados em espera neste *buffer* também foi definida como uma variável desta pesquisa porque impacta na utilização do espaço e no comprometimento

com a organização; as distâncias percorridas e a disponibilidade dos transportadores do *buffer* de saída do posto de pintura até o próximo processo é medido com a finalidade de comparar cenários propostos com a inserção do AGV e de definir a melhor utilização do veículo; e a quantidade de produtos processados possibilita uma visão do impacto da inserção do AGV para a tarefa de transporte. Dados como tempos de processamento, *setup*, intervalo de chegadas de produtos para o processo são dados que devem ser coletados e transformados em estatística para permitir a construção do modelo. Estes dados são valiosos para fornecer os *inputs* dos modelos que devem ser fiéis às condições atuais; a autonomia de bateria do AGV será desprezada, pelo fato de haver intervalos na rotina do AGV que permitem o carregamento por oportunidade. O sistema informatizado que a empresa dispõe torna simples a coleta de dados pelo fato de todo o processo ser monitorado. Já os dados relacionados ao desempenho do AGV serão obtidos diretamente da ficha técnica do fabricante do AGV.

O quadro 5 apresenta as variáveis de pesquisa. A partir destas variáveis, busca-se apurar os resultados da implantação do sistema AGV, que se dará pela situação atual, contrapondo com a melhor situação simulada, contando com os benefícios e com a qualidade esperada no processo do posto de pintura especial juntamente com o reflexo nas etapas seguintes do processo.

Quadro 5: Variáveis de pesquisa

VARIÁVEIS	DESCRIÇÃO
<i>Lead Time</i>	Tempos totais do processo de pintura.
Distância	Distância percorrida pelos transportadores partindo do posto de pintura especial até o próximo processo.
Quantidade máxima de produtos em espera	Quantidade máxima de produtos no <i>buffer</i> de saída do posto de pintura especial.
Tempo de espera	Tempo de espera do produto no <i>buffer</i> de saída do posto de pintura especial.
Quantidade de produtos processados	Quantidade de produtos produzidos.
Nível de utilização do veículo	Tempo produtivo do veículo.

Fonte: Autoria própria.

3.3 INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS

A coleta de dados e de informações valiosas capazes de contribuir para o entendimento merece foco e esforço. Como a proposta do estudo é analisar a viabilidade produtiva para a inserção do AGV no processo produtivo do posto de pintura especial, dados de apontamento de

produção devem ser coletados, particularidades do processo devem ser observadas e posteriormente analisadas.

A empresa estudada trabalha com ordens de produção. Cada ordem de produção é única e traz os dados técnicos do produto vendido e toda informação necessária para a sua montagem. O *Enterprise Resource Planning* (ERP) da empresa contém um módulo de controle das etapas de produção, o qual registra os tempos de passagem da produção, criando uma linha do tempo desde o início até o fim do processo, permitindo alta rastreabilidade das operações. Os tempos referentes à entrada e saída de materiais no posto de pintura especial são possíveis de coletar com precisão mediante a consulta do sistema ERP. Cada etapa do processo da empresa, incluído o de pintura, gera um *status* no sistema ERP que monitora a produção, e estes *status* podem ser filtrados por período, operador, tipo de pintura ou número da ordem de montagem. Estes dados permitem a extração do *lead time* real ao comparar dados entre a soma dos tempos das operações iniciadas partindo do término de separação até a entrega do material na próxima estação de trabalho, que são definidas também por *status*. Assim, as sementes de entrada no processo de simulação foram coletadas a partir do intervalo entre as chegadas de produtos no posto de pintura especial, as quais foram extraídas a partir do *status* do sistema que define a finalização do processo de separação e teste. A coleta dos dados que permite a definição do tempo de espera está entre o período do *status* de execução da pintura, caracterizado no momento em que o pintor disponibiliza o produto pintado para o transporte depois de respeitar o tempo de cura da tinta, e o *status* gerado na entrega do produto na próxima tarefa.

A coleta de dados de tempos de *setup* e a quantidade máxima de produtos em espera no *buffer* de saída devem ser medidas diretamente no posto de pintura especial, cronometrando o tempo necessário para a limpeza das ferramentas de pintura no processo. A velocidade de operação do AGV e o consumo de bateria são dados obtidos diretamente com os fornecedores. A variável distância será medida de acordo com o *layout* da fábrica, propondo os caminhos possíveis para a utilização do veículo AGV. A variável nível de utilização do veículo será medida pelo percentual de utilização do veículo AGV em relação ao tempo. A coleta destas informações vai auxiliar no processo de simulação e na análise completa do processo.

3.3.1 Dimensionamento da simulação

Os dados de saída dos processos de simulação trarão os resultados que simulam o efeito das condições modeladas, sendo possível avaliar se a construção do modelo da situação atual reflete a realidade para, assim, avaliarmos as ações propostas. Para atingir esta condição, os

dados de entrada são extremamente importantes, bem como os parâmetros que rodam a simulação para a produção dos dados de saída.

Baseado em Chwif e Medina (2006), é adotado, para esta simulação, a simulação em regime permanente, que significa que, após o término do turno, os processos são paralisados de tal forma que no próximo dia de expediente as operações de produção são retomadas a partir do mesmo ponto. Esta condição também é classificada como não terminal porque não existe um instante para o término da simulação. Esta classificação se dá porque a empresa opera em 2 turnos de 9 horas por dia, 5 dias por semana, e a carga de trabalho no posto de cabine de pintura especial é retroalimentado à medida que o planejamento libera as ordens de montagem para serem manufaturadas.

Mediante as características da simulação desejada, faz-se necessário desconsiderar as estatísticas iniciais da simulação, as quais são denominadas *warm-up* (Chwif; Medina, 2006, Iannoni; Morabito, 2002). Este período é característico até as operações se estabilizarem para não interferirem com estatísticas não representativas para o sistema. Chwif e Medina (2006) também indicam a utilização da média móvel para os resultados produzidos, pois assim é possível analisar o momento de suavidade da curva e identificar o momento de estabilidade do processo.

Intervalo de confiança deve ser adotado para “rodar” a simulação, promovendo maior precisão dos dados. Neste estudo será adotado um intervalo de confiança com 95% de significância. Para a construção de um modelo que representa a situação atual, na qual serão validados os dados de entrada na simulação, não será considerado o fator fadiga do operador.

Os registros avaliados para a coleta de dados são registros obtidos pelo sistema ERP considerando os dias úteis de 02/02/2022 até 20/04/2023. Vicent (1998) aponta que o ideal é uma amostra entre 100 e 200 observações. Estes registros permitem mapear o comportamento de cada produto analisado na cadeia de produção, extraindo dados de interesse desta pesquisa. Estes dados serão tratados com ajuda do *software Minitab* para encontrar possíveis *outliers* e, em sequência, no *software Expertif* do Flexsim®, com o objetivo de gerar dados estatísticos capazes de conduzir a simulação com confiabilidade.

Para o tempo de simulação, Chwif e Medina (2006) indicam, como um número empírico, adotar tempos superiores a 10 vezes o tempo de *warm-up*.

Sobre as características do ambiente e os dados importantes para a construção dos modelos, a área de *buffer* de entrada do posto de pintura especial comporta 9 paletes padrão (1200mm x 800mm) ou carros de separação de mesma medida. A capacidade em produtos se resume em 77 produtos; o *buffer* de saída do posto de pintura especial tem capacidade de 4

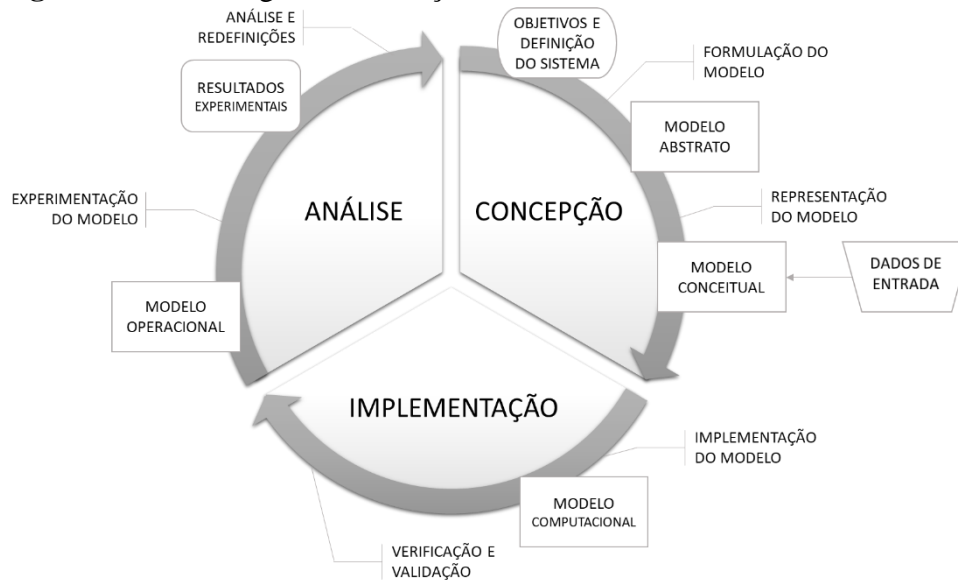
paletes (32 produtos); a expedição recebe os produtos para a embalagem após a pintura e, assim, a expedição tem espaço para 16 produtos provindos do *buffer* da saída do posto de pintura especial; os postos de montagem de motores possuem *buffer* capaz de abrigar 66 produtos. Como não há processo de embalagem e desembalagem no posto de pintura especial, a representação dos paletes e carrinhos de separação se fará ausente nesta simulação.

A cada mudança de tinta é necessário um *setup* para a limpeza do equipamento de pintura. O tempo necessário para esta limpeza será coletado por meio de observação direta; como não se espera uma variação muito grande, será registrado uma observação de *setup* por dia até se obter 100 observações. A relação de tempo de manutenção será desprezada na simulação, uma vez que a empresa opera de segunda à sexta-feira; os dias sem demanda de produção são utilizados para as manutenções preventivas. Os dados extraídos serão submetidos a teste estatístico que indicam a presença de *outliers*, os quais serão excluídos da amostra.

Estes parâmetros são guias para que os resultados produzidos com a simulação sejam os mais precisos possíveis. Baseado na pesquisa de Pereira e Chwif (2010), busca-se enquadrar todos os parâmetros necessários para minimizar retrabalhos e erros durante as simulações.

3.4 ETAPAS DA PESQUISA

Esta pesquisa segue as etapas sugeridas por Chwif e Medina (2006). Assim, o desenvolvimento da pesquisa para a simulação de eventos discretos é composto por três etapas representadas na figura 9: concepção ou formulação do modelo, implementação do modelo, análise de resultado do modelo. A primeira etapa consiste em decidir com clareza qual será o escopo do modelo, suas hipóteses e seu nível de detalhamento e a coleta de dados. A segunda etapa é traduzir os dados coletados em *inputs* para o modelo computacional de simulação, no qual alguns resultados gerados já são esperados para a análise e validação. Na terceira etapa, várias interações devem ser executadas para efeitos comparativos e para o entendimento do problema.

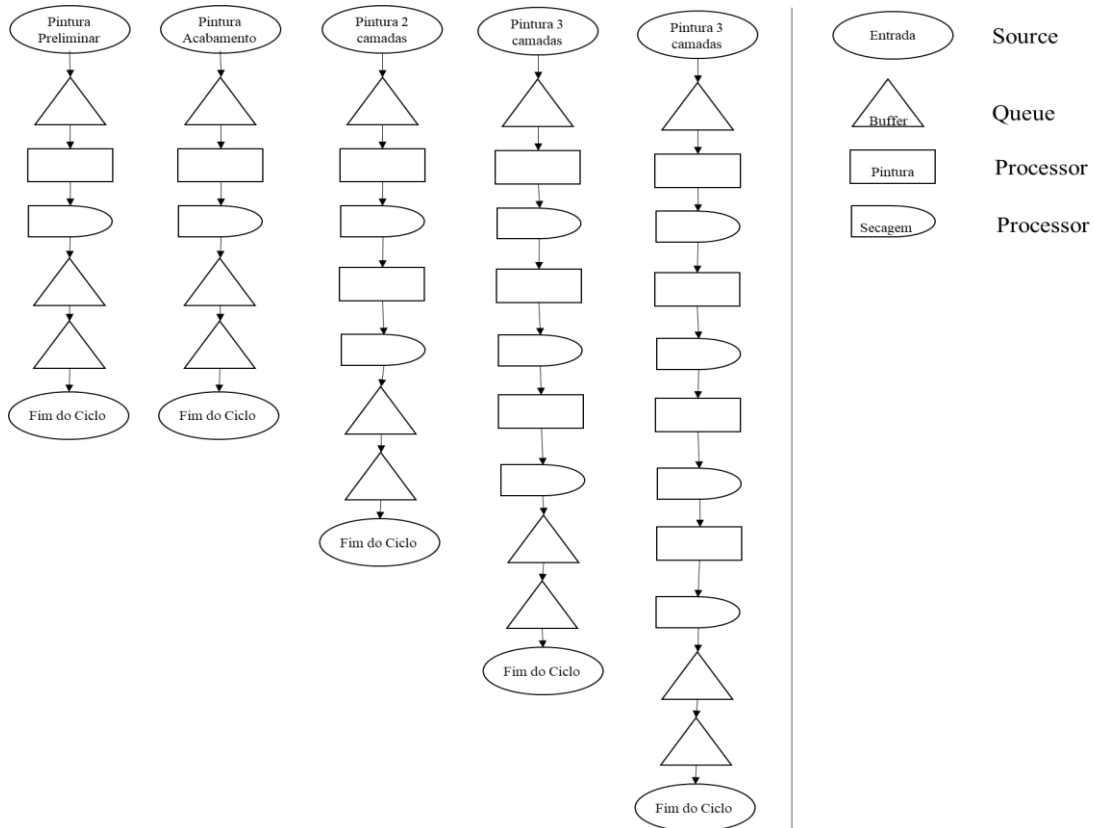
Figura 9: Metodologia de simulação

Fonte: Adaptado de Chwif (1999).

3.4.1 Concepção

A primeira etapa de concepção consiste em alinhar e detalhar todas as ações necessárias de acordo com os objetivos propostos. Banks (1998) sugere no início dos trabalhos de simulação a formulação do problema. Para o presente estudo, a definição do problema da simulação é a inconsistência na logística de transporte que parte do posto de pintura especial. Assim, faz-se necessário o desenho conceitual da situação, detalhando o fluxo dos materiais dentro do processo para gerar um modelo. Em resumo, a figura 10 expressa o fluxo das diferentes pinturas que são aplicadas no posto de pintura especial. Este fluxo facilita o desenho do modelo conceitual no *software* Flexsim®.

Figura 10: Fluxo do processo de pintura especial com referência a recursos do Flexsim®



Fonte: Autoria própria.

Os dados capazes de produzir uma distribuição estatística de diferentes *leads times* serão analisados e extraídos do sistema ERP. Nesta etapa será possível entender e equacionar a frequência com que os produtos chegam, são processados e transportados a partir do posto de pintura especial. Estes dados devem aderir a uma distribuição estatística, comprovada por meio de ferramentas estatísticas e com o auxílio do recurso *ExpertFit* do *software* Flexsim®. Esta fase é importante porque a coleta de dados tem que compreender claramente a situação problema para extrair da simulação situações mais próximas da realidade (Da Silva et al., 2011, Moreira, 2017). A partir do momento em que um modelo abstrato, que está na mente, é transportado para uma simulação com a ajuda de *software*, o modelo se torna conceitual (Chwif; Medina, 2006). Com o apoio do Flexsim®, é possível construir um modelo computacional capaz de simular a situação problema e confrontá-la com a realidade do posto.

3.4.2 Implementação

A fase de implementação confronta se os resultados atingidos com a simulação são compatíveis com a condição problema, e, caso necessário, ajustes para adequar o modelo são

executados para avaliação. Chwif e Medina (2006) concordam discorrendo que os resultados devem ser gerados para a validação do modelo com a faculdade de precisão com a realidade. O modelo computacional desenvolvido tem apoio do *software* Flexsim® 2021, versão 21.1.2, contemplando a estrutura onde três modelos serão desenvolvidos: um modelo com situação atual e mais dois modelos com propostas futuras. Estes modelos variam de acordo com o tipo do AGV, estruturas de automação para carga e descarga e rotas alternativas para o trajeto. Para cada modelo testado também será necessário a validação, garantindo, assim, que a construção destes modelos hipotéticos vincule parâmetros adotados, nível de detalhe e que propostas futuras estejam concisas (Chwif; Medina, 2006, Da Silva et al., 2011). Se necessário, ajustes devem ser feitos para uma conversão fiel de informação.

Esta fase materializa o modelo conceitual que é aplicado na simulação. Com maiores detalhes, a seção 4.6 trará como cada etapa do processo é desenhada no *software* Flexsim®. A construção destes modelos hipotéticos que provisionam uma condição futura se diferencia sob os seguintes aspectos: o primeiro modelo contempla a situação atual com transportes manuais efetuados periodicamente entre os *buffers* de saída do posto de pintura especial e os *buffers* de expedição e de linha de motores, o segundo modelo automatiza este transporte manual com um AGV tipo *deck lift* e o último modelo contempla um AGV tipo rebocador que efetuará o transporte sempre que a carga de seus vagões forem completadas.

Com os resultados destes modelos, busca-se avaliar os impactos no fluxo de pessoas e de materiais dentro do processo produtivo antes e depois da implantação do AGV.

3.4.3 Análise

Nesta etapa os modelos estão prontos para os experimentos e todos os modelos são simulados. Os dados extraídos de cada modelo serão analisados e comparados entre si, buscando o melhor cenário. Serão observadas as variáveis da pesquisa, como *lead times*, quantidade máxima disposta e tempo de espera no *buffer* de saída do posto de pintura especial, distâncias percorridas, quantidade de produtos acabados finalizados. A partir destas experiências, é possível a criação de mais modelos na busca de uma condição mais eficiente, a qual pode conter características combinadas de mais de um dos modelos previamente construídos. A melhor condição será a que traz o maior benefício.

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

4.1 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

A SEW-Eurodrive é uma empresa familiar global de origem alemã, fundada em 1931, produtora de tecnologia de acionamentos industriais, como motores elétricos, redutores, motorredutores e conversores de frequência, sistemas descentralizados, entre outras. A matriz da empresa está localizada ao sul da Alemanha. Presente em 47 países com 15 unidades fabris, 77 montadoras e mais de 16000 colaboradores. Altamente verticalizada, produz grande parte dos *inputs* necessários para o processamento de seus produtos. A figura 11 resume a participação da empresa no mundo e a figura 12 expõe os produtos produzidos.

Figura 11: Participação da empresa no mundo



Fonte: Perfil de SEW Eurodrive (2022).

Figura 12: Portifólio de produtos



Fonte: Perfil de SEW Eurodrive (2022).

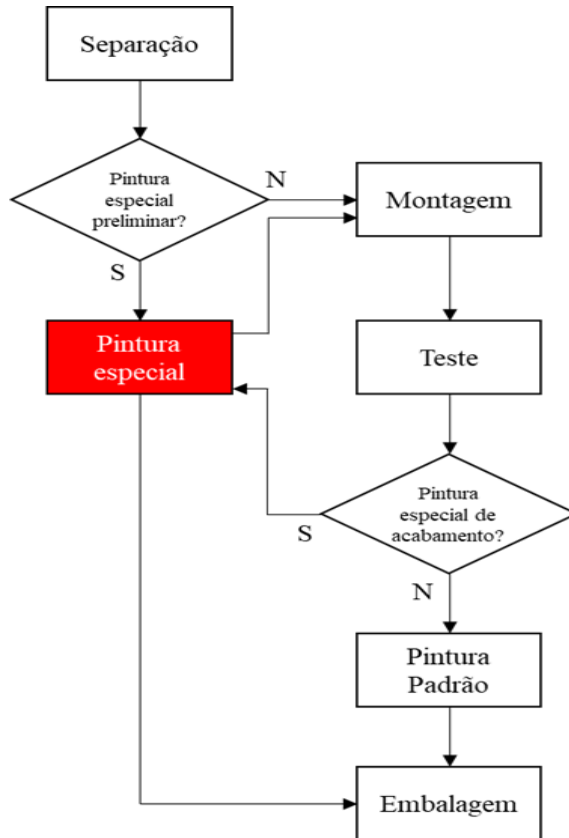
No Brasil a empresa está instalada desde 1977 e atualmente possui cerca de 1500 colaboradores em uma fábrica e duas montadoras localizadas no estado de São Paulo e de Santa Catarina, além de 16 unidades em outras regiões do país, suportando vendas, pós-vendas e

consultoria técnica. A montadora estudada está localizada no interior paulista e monta a principal linha de produtos da empresa: motorreduzores, redutores, motores elétricos e conversores de frequência.

O processo produtivo tem uma estrutura de informatização muito expressiva para o compartilhamento de informação e gestão, com sistemas como CRM (*Customer Relationship Management*) WMS (*Warehouse Management System*), *transportation*, além do sistema ERP SAP fazer parte da rotina da empresa. Todo processo é controlado gerando *status* de cada etapa da manufatura, contribuindo com a estatística e indicadores que apoiam o controle do processo e a tomada de decisões. A montadora possui 27 postos de trabalho entre células de montagem que são divididas por família e tamanho de produtos, estações de teste do produto e pintura.

4.2 PROCESSO DE PINTURA

O processo da empresa é distribuído em vários postos de montagem interligados por esteiras até um posto de teste e, em seguida, segue por um transportador aéreo contínuo para o posto de pintura padrão e, em sequência, para a expedição. Todo o transporte de produtos manufaturados, considerando a pintura padrão, seguem de forma automatizada até o próximo posto de trabalho. Contudo, a demanda crescente de pinturas customizadas de acabamento, que representa aproximadamente 13% da produção, não são efetuadas no posto de pintura padrão, em virtude dos *setups* para mudança de cor de tinta atrapalharem o fluxo das pinturas padrões, além da dificuldade de controle de tempo de cura das pinturas, uma vez que as pinturas especiais apresentam tempos de secagem de tinta que vão de 1 intervalo de 30 minutos até 4 intervalos de 8 horas cada. Com esta particularidade e variabilidade, estas pinturas são efetuadas em um posto próprio para pinturas especiais, o transporte dos produtos que partem deste posto de pintura são todos efetuados de maneira manual e sofrem atraso no despacho por conta da disponibilidade de operadores e pelos diferentes tipos de ciclo. A figura 13 apresenta o fluxo do processo.

Figura 13: Fluxograma do processo produtivo

Fonte: Autoria própria.

4.2.1 Pintura padrão de acabamento

A pintura de acabamento padrão se remete a pintura aplicada nos produtos com esmalte sintético de cor cinza ral 7031, adequada para máquinas e instalações em espaços internos, com ambientes secos e neutros, compatíveis com a categoria C1 de corrosividade segundo a norma ISO 12944-2:2017, que trata a proteção de estruturas de aço por sistemas de pintura. Esta pintura é aplicada em um posto de pintura acoplado ao transportador aéreo contínuo, que interliga o posto de teste, a pintura padrão, o *flash-off*, a estufa e a expedição. A tinta também é abastecida no posto de forma contínua na pistola de operação do pintor por meio de uma máquina capaz de manter a tinta em fluxo mesmo quando não está em uso, minimizando paradas para limpeza e desperdício de tinta. A máquina é capaz de prover uma limpeza rápida de todo o sistema da tinta, permitindo apenas uma parada por turno para limpeza. Este posto de pintura comporta até dois operadores para pintura. O posto de pintura é munido de uma estrutura para pintura onde o transportador contínuo se movimenta a uma velocidade de 1m/min com 148 posições em toda a sua extensão. Esta velocidade pode se tornar mais lenta devido a fatores como temperatura ambiente e umidade relativa do ar. Por meio do transportador aéreo contínuo,

os produtos passam pela cabine de pintura onde são pintados, em sequência pelo *flash-off*, onde os gases provenientes da pintura se dissipam antes de entrar na estufa. Após a estufa, que funciona a uma temperatura constante de 80°C, os produtos percorrem uma área de resfriamento em temperatura ambiente e depois são descarregados no setor de expedição para serem embalados.

4.2.2 Pintura preliminar

Para atender os requisitos em ambientes onde se apresentam condensação, poluição e baixa umidade são aplicados nos produtos pinturas capazes de atender as categorias de C2 a C5. Ambientes atmosféricos são classificados pela ISO 9223:1992. O quadro 6 apresenta o significado de cada categoria.

Quadro 6: Significado de categorias de corrosividade

Categoria	Significado
C1	Corrosividade muito baixa
C2	Corrosividade baixa
C3	Corrosividade média
C4	Corrosividade alta
C5	Corrosividade muito alta
CX	Corrosividade extrema

Fonte: Adaptado de ISO 9223.

Estas pinturas preliminares exigem que seja realizado um tratamento nas peças que compõem os produtos antes do processo de montagem para garantir a qualidade da categoria de corrosividade selecionada. Este tratamento com pintura se dá por meio da pintura com tinta primer epóxi, independente da categoria de corrosividade a ser atendida. Esta pintura exige um processo que garanta a pintura somente nas partes necessárias. Partes das peças, como roscas para parafusos, mancais de rolamentos e pontos de junta e aterramento, são devidamente protegidas para não receber este tratamento. Esta proteção é feita com dispositivos e o manuseio e tratamento da pintura são executados pelo pintor. Estas pinturas têm tempo de secagem (cura) em torno de 30 minutos, e o tempo de preparo e aplicação da tinta é em torno de 4-5 minutos por produto, o qual pode variar um pouco de acordo com o tamanho das peças a serem pintadas.

Esta tarefa, por ser manual e atender uma variedade de tipos e tamanhos de peças, é executada em um posto de pintura específico denominado posto de pintura especial, onde a logística de abastecimento e despacho de peças também é feita de maneira manual. Este posto comporta até dois pintores trabalhando simultaneamente, contudo, este posto também atende

pinturas externas de acabamentos dos produtos acabados e, assim, são necessários inúmeros *setups* para a troca de tinta e limpeza de equipamento de pintura.

4.2.3 Pintura especial de acabamento

A empresa trabalha no sistema ATO e, assim, é muito comum um mix variado de tipos de produtos, e a pintura de acabamento dos produtos também pode ser customizada.

As pinturas para atender a ISO 12944-2:2017 são uma demanda crescente e para atender estes requisitos, além da pintura preliminar, faz-se necessário uma pintura de acabamento específica com aplicação de até 4 camadas de tinta, com pinturas intermediárias de primer epóxi ou macropoxy, e pinturas de acabamento com base em poliuretano (PU). As especificações de tintas, espessuras e quantidade de camadas dependem da categoria de corrosividade que se busca atender.

Além desta demanda baseada na ISO 12944-2:2017, também são aplicadas pinturas específicas com a finalidade de atender algum requisito do cliente, como pintura bicolor, tratamento específico para cada cliente, pintura apenas de fundo. Para todos estes casos, são desenvolvidos estudos de pintura (EP), nos quais a engenharia de aplicação e produto fornecem o roteiro de pintura para cada ordem de montagem. Estes EP's são o guia para que os pintores consigam desenvolver a pintura especificada.

Este posto de pintura especial possui um *trolley* manual com 18 posições e um dispositivo que pode triplicar esta capacidade para produtos menores. A finalidade deste *trolley* é reservar o produto para aguardar a secagem completa da tinta.

Os produtos finalizados são movidos por operadores logísticos até a etapa de embalagem, que fica na expedição.

4.3 PROCESSO LOGÍSTICO ATRELADO AO POSTO DE PINTURA ESPECIAL

O posto de pintura especial recebe os equipamentos prontos para pintura de acabamento customizada e as peças que caracterizam as proteções anticorrosivas que necessitam de uma preparação antes do processo de montagem dos produtos.

Quando se trata dos equipamentos prontos para a pintura de acabamento, os produtos vêm das estações de teste final direto para o posto de pintura, conforme é possível notar no fluxograma do processo apresentado na figura 13. Assim, os produtos vêm em paletes de

madeira, podendo haver casos de mais de um produto por palete. O operador da estação de teste é o responsável por esta transferência, que ocorre sem espera, logo após o produto ser aprovado. Esta movimentação se dá por meio de paleteiras manuais, e a distância percorrida para a entrega destes produtos variam de 10 a 30 metros, dependendo da origem da estação de teste, que são 4 estações no total.

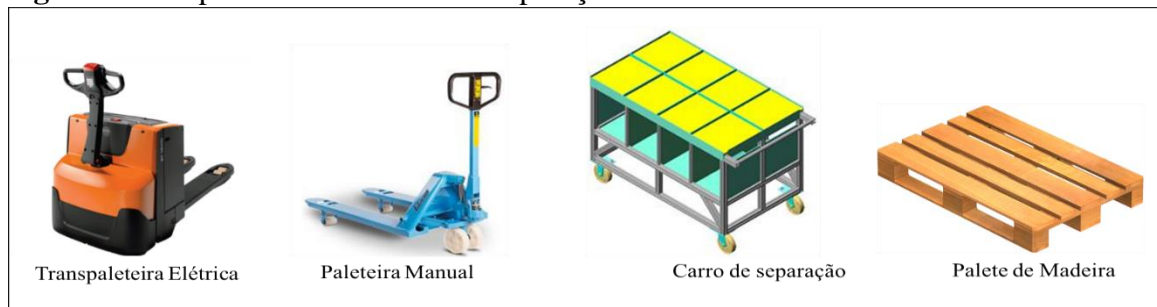
A movimentação dos produtos no posto é realizada pelo pintor e, portanto, a responsabilidade de carregá-los e descarregá-los do *trolley* manual são do próprio pintor, que dispõe de um guindaste giratório com a capacidade de 500kg para auxiliá-lo. Após finalizados, o pintor dispõe os produtos sobre um palete em área de *buffer* frente ao posto, e a logística tem a responsabilidade de transferi-los para a expedição por meio de transpaleteiras elétricas, onde estes produtos serão embalados e despachados. Neste percurso, o operador logístico percorre 90 metros.

Quando se trata das pinturas preliminares com proteção anticorrosiva, as peças chegam ao posto em sua grande maioria em carros de separação com 16 repartições. As peças que estão dispostas nestes carros são separadas e entregues pelo operador logístico responsável pela separação das ordens de montagem e, ao finalizar a operação de separação, este mesmo operador posiciona o carro de separação na área de *buffer* do posto de pintura especial. O pintor é responsável por aplicar a pintura de proteção e por dispor o carro de separação com as peças prontas no *buffer* e, em seguida, um operador logístico deve deixar este carro de separação no *buffer* próximo aos postos de montagem de motores.

Atualmente, esta operação que tira os produtos e as peças do posto de pintura especial não tem um operador dedicado a esta operação, e a demora em fazer a transferência gera confusão nas áreas de *buffer*, pois sobrecarrega este espaço, gerando mais uma operação para organizar estes produtos para disponibilizá-los para as próximas operações.

A figura 14 apresenta a representação do carro de separação e do palete utilizado para a movimentação de materiais relacionados ao posto de pintura especial.

Figura 14: Dispositivos usados na manipulação de materiais



Fonte: Extraído dos sites Mecalux (2022), Palettrans (2020) e Toyota Empilhadeira (2022).

4.4 MELHORIA NO PROCESSO DE PINTURA ESPECIAL

A inserção do AGV na rotina do transporte de materiais que partem do posto de pintura exige melhorias para que o fluxo destes materiais seja preservado sem prejuízo nas operações de transporte; a organização e a sequência são pontos-chave que devem ser melhorados antes da inserção do AGV.

Assim, com o desenvolvimento de uma interface homem-máquina (IHM) instalada no posto de pintura, espera-se sequenciar as atividades desenvolvidas no posto. Esta interface estará conectada online com o ERP da empresa, de modo que todas as etapas do processo de pintura serão ilustradas ao pintor na tela da IHM, sequenciando suas atividades. Esta interface indicará sempre que alguma etapa estiver concluída, promovendo que não haja desperdício de tempo com a espera entre uma etapa de pintura.

Esta ação garante que, sempre que finalizados, os produtos sejam disponibilizados no *buffer* de saída do posto para transporte até o *buffer* da expedição ou para o *buffer* dos postos de motores.

O resultado desta ação se traduzirá em organização operacional e visual, dando condições de se extrair o máximo de benefícios que um sistema AGV pode proporcionar.

4.5 MODELO CONCEITUAL

Para iniciar a simulação e comparar as evoluções previstas, faz-se necessário a construção de um modelo conceitual que represente de forma fiel a condição atual. Assim, as seções seguintes fazem esta projeção da situação atual e propostas com representação gráfica no Flexsim®.

Para iniciar esta condição, algumas premissas são relevantes, as quais estão apresentadas no quadro 7. Algumas destas premissas já foram expostas na seção 3.3.1.

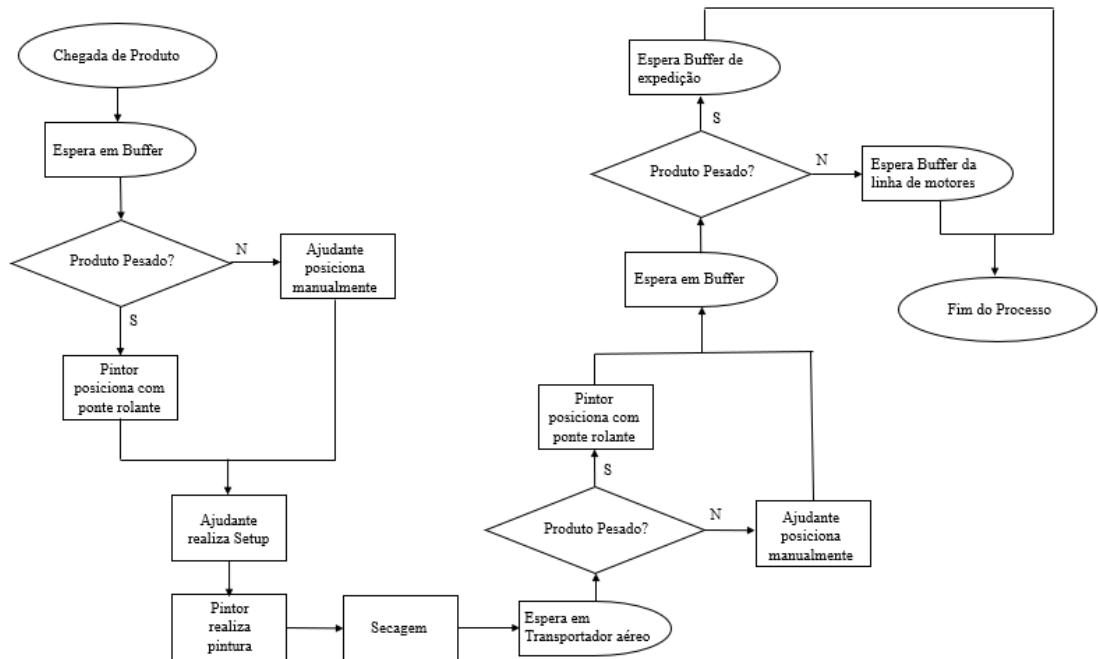
Quadro 7: Premissas do modelo conceitual

Premissas	Descrição
<i>Buffer</i> de entrada do posto de pintura	Comporta 9 paletes de 800 x 1200mm ou carro de separação.
<i>Buffer</i> de expedição	Comporta 4 paletes de 800 x 1200mm.
<i>Buffer</i> linha de montagem de motores	Comporta 6 paletes de 800 x 1200mm ou carro de separação.
<i>Buffer</i> de saída do posto de pintura	Comporta 4 paletes de 800 x 1200mm ou carro de separação.
Capacidade do transportador aéreo	18 produtos.
Coletas de tempos de passagem dos produtos	Extraído do SAP, por unidade.
Coletas de tempos de <i>setup</i>	Observação direta.
Consumo de produtos nos <i>buffers</i> de montagem de motores e expedição	Dispõem de estrutura de consumo e todo material desta área será processado quando houver demanda.
Espaço	Não serão considerados remanejamentos para aumentar ou diminuir espaços de <i>buffers</i> e de capacidade do transportador aéreo.
Exclusão de <i>outliers</i>	Serão excluídos dados que indicam <i>outliers</i> .
Fadiga de operador	Não considerado.
Intervalo de confiança estatística	0,95
Precisão estatística	$\pm 3\%$
Manutenção	Não estão consideradas as manutenções no posto e nos AGV's.
Rotas	Não serão considerados remanejamentos de máquinas para encurtar rotas.
Turnos	Serão considerados 2 turnos de expedientes normais, sem horas extras para levantamento de dados.
Velocidade máxima de operadores	2,0m/s
Velocidade máxima do AGV	1,4m/s
Paletes e carros de separação	Não serão representados na simulação.
Processos de montagem de motores e embalagem	A dinâmica de consumo dos <i>flow items</i> nos <i>buffers</i> de expedição e nas linhas de motores não serão simulados.

Fonte: Autoria própria.

Com base na figura 15, o modelo conceitual foi desenhado no *software* Flexsim® com as configurações que permitem maior fidelidade em espelho ao processo. Dentro deste processo, os materiais apresentam quantidades de reprocesso diferentes para cada tipo de pintura; este fluxo dos materiais, de acordo com o tipo da pintura a ser aplicada, está apresentado na figura 10.

Figura 15: Fluxo do modelo conceitual



Autor: Autoria própria.

As seções seguintes apresentam os detalhes da construção do modelo no *software* Flexsim®.

4.6 ARQUITETURA NO *SOFTWARE* FLEXSIM®

A simulação foi construída e executada em um computador pessoal, com processador Intel core I5, com 8GB de memória RAM e sistema operacional *Windows* 10. As próximas seções explicam como o modelo de simulação foi elaborado no *software* Flexsim® para representar os modelos propostos na seção 3.4.2 para um melhor entendimento. A figura 16 expressa uma legenda dos objetos utilizados para a construção do modelo.

Figura 16: Legenda de objetos utilizados na construção dos modelos



Autor: Autoria própria.

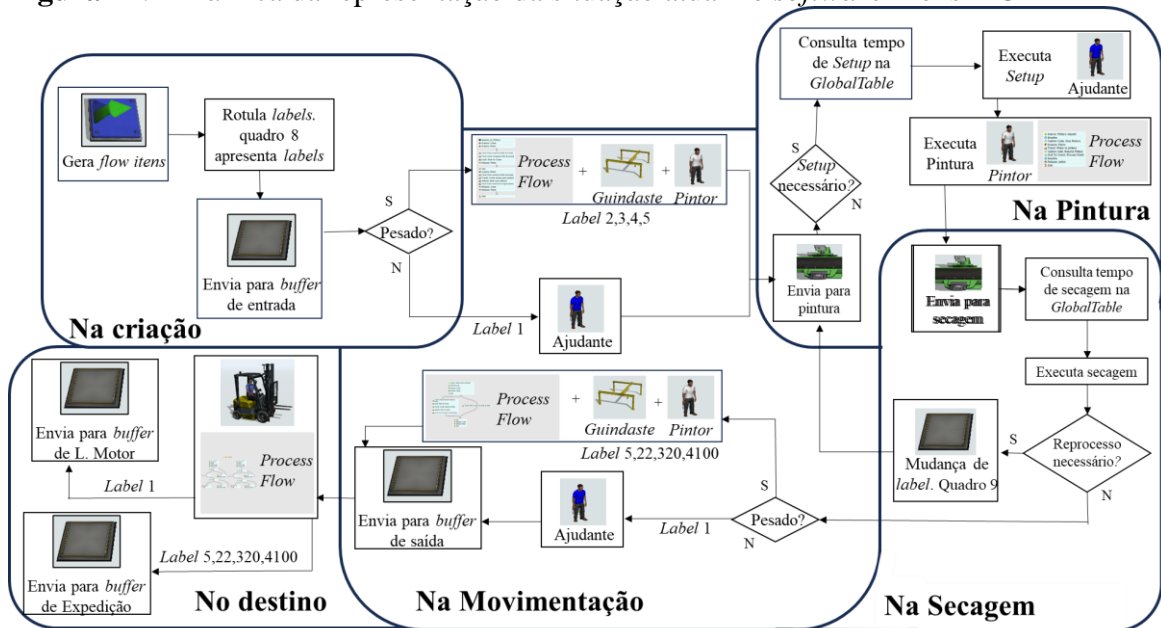
Além dos objetos utilizados apresentados na figura 16, alguns conceitos dentro do Flexsim® serão brevemente abordados para melhor entendimento da construção do modelo. Dentre elas, estão os *flow items*, as *triggers*, as *labels*, as *global tables* e os *process flow*.

Flow items são os itens que percorrem o fluxo do processo. No caso desta dissertação, eles representam os produtos como motores e redutores. *Triggers* são lógicas implementadas sobre um determinado evento dentro da simulação. As *triggers* são utilizadas para customizar o comportamento dos objetos que constituem o modelo. As *labels* são identidades ligadas ao *flow item* capaz de diferenciá-lo e rastreá-lo no processo. *Global tables* armazenam informações que podem ser acessadas por objetos da simulação usando a interface de classe *table*. *Process flow* é uma ferramenta que permite customizar algumas ações, criando e controlando regras que os recursos e executores do *software* não tem parametrização.

4.6.1 Modelo que representa situação atual

Este modelo representa a situação vigente, na qual este estudo visa a modificação do sistema de transporte dos produtos que partem do posto de pintura especial. A figura 17 esquematiza a situação atual desenhada no *software* Flexsim®.

Figura 17: Dinâmica da representação da situação atual no *software* Flexsim®



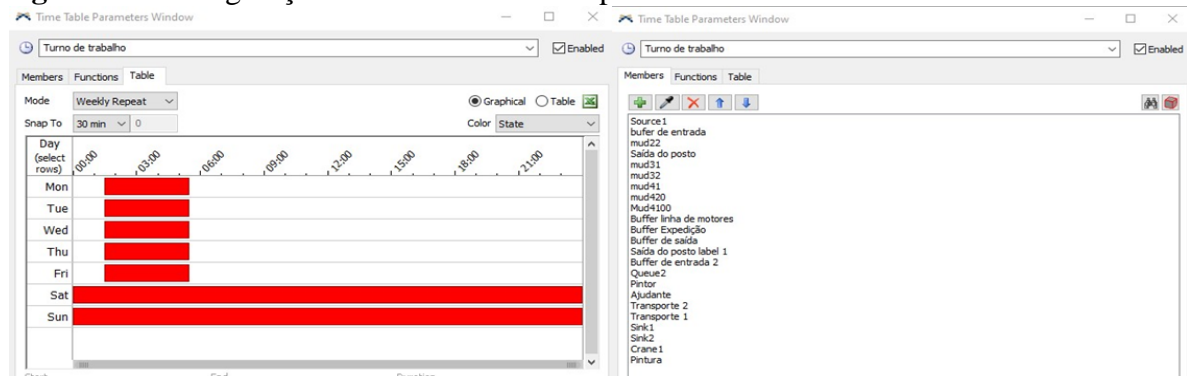
Fonte: Autoria própria.

A figura 17 apresenta uma visão macro da modelagem projetada no Flexsim®. Uma função que rege os horários e os turnos de funcionamento é necessária para a extração fiel dos resultados. Assim, para representar os turnos de trabalho e os horários de almoço dos colaboradores, foi configurada a função *time table* no Flexsim®, que permite interromper a simulação nos horários pré-determinados.

Esta função se faz muito importante na representação deste modelo porque mesmo no tempo em que não há trabalho no posto, o tempo de secagem continua sendo simulado.

Assim, em dias de semana das 1h30 até as 5h30 não há expediente, como nos finais de semana em sua totalidade. A figura 18 mostra, em vermelho, os horários interrompidos e os objetos que obedecem a esta configuração. No caso, o *processor* “secagem” não está na lista, permitindo que o tempo de secagem não seja interrompido.

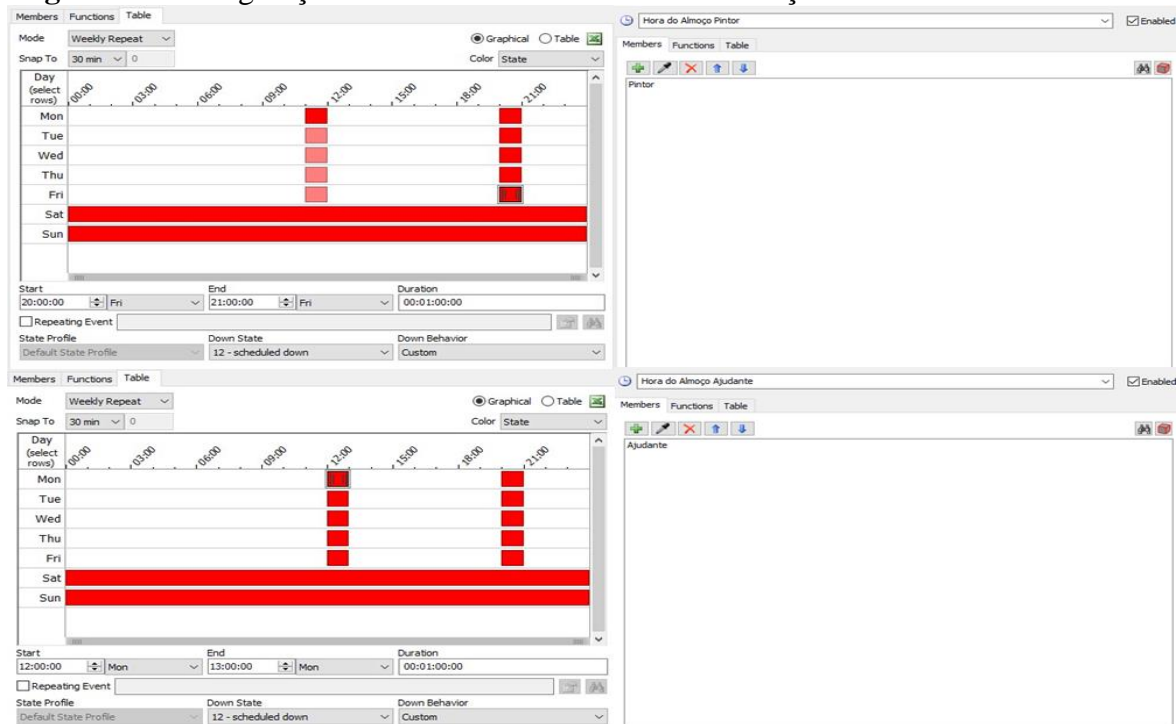
Figura 18: Configuração do *time table* sem expediente



Autor: Autoria própria

A figura 19 apresenta os horários de refeição dos colaboradores envolvidos no posto de pintura especial. Neste caso, apenas os colaboradores estão interrompidos de trabalhar, o processo de secagem e de chegada de materiais continua operando normalmente.

Figura 19: Configuração do *time table* nos horários de refeição



Fonte: Autoria própria.

As seções seguintes apresentam maior detalhamento da dinâmica proposta nesta seção, intituladas conforme disposição da figura 17.

4.6.1.1 Referente a entrada do modelo

Na criação, os *flow items* a serem processados são criados a partir de uma *source* nomeada de “chegada de materiais” para criar os *flow items* que representam os produtos. Esta *source* é configurada com duas *triggers*, uma para criar 5 *labels* diferentes, com intuito de diferenciar qual tipo de pintura cada *flow item* receberá, e outra para atribuir uma cor a cada *label*. Baseado na análise do comportamento da produção no posto de pintura com horizonte de três meses, os percentuais de cada *label* foram identificados e expressados pelas suas médias. Esta configuração de cada *flow item* criado está expressa no quadro 8.

Quadro 8: Percentual dos *flow items*

Tipo de pintura	Label	Percentual
Pintura preliminar	1	77%
Pintura de 1 camada	5	3%
Pintura de 2 camadas	2	16%
Pintura de 3 camadas	3	3%
Pintura de 4 camadas	4	1%

Fonte: Autoria própria.

As *triggers* que configuram as características citadas são definidas no Flexsim® da seguinte maneira:

- *triggers – on creation – set label by percentage;*
- *triggers – on exit – set color by case.*

A distribuição que melhor representa a chegada de materiais é a beta (385.740479, 3030.908377, 1.401659, 3.168386). Para a definição desta e das posteriores distribuições, foi utilizado o *software Minitab* para encontrar possíveis *outliers*.

Na sequência foi utilizado a ferramenta *Expertfit* do Flexsim®, onde os dados sem os *outliers*, transformados em segundos, são plotados. O *Expertfit* é capaz de entregar uma análise completa dos dados, fornecendo dados estatísticos, distribuições que melhor representam os dados e teste de aderência que concretiza a utilização da distribuição indicada pelo próprio *software*. O apêndice A (tabela A.1 e figura A.1) apresentam os dados e definições que suportam a distribuição indicada.

Após criados os *flow items* na sua proporcionalidade, estes são dispostos no *buffer* de entrada do posto de pintura especial.

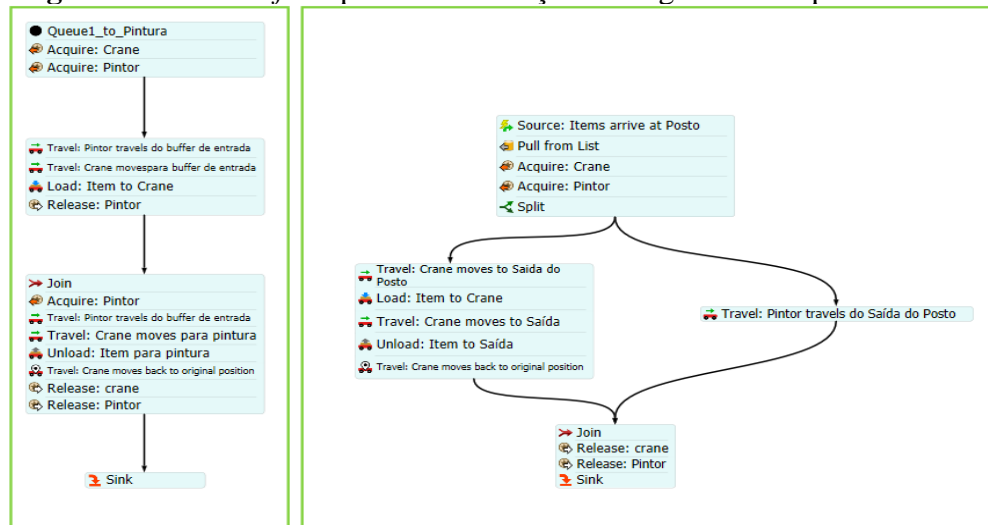
4.6.1.2 Referente a movimentação dos *flow items*

A dinâmica de movimentação dentro do posto de pintura especial é definida a partir da *label* dos *flow items*. Sempre que a *label* tiver valor igual a 1, o operador faz a movimentação deste *flow items* tanto no início do processo movimentando do *buffer* de entrada para o processo de pintura quanto movimentando do processo de secagem e dispondo o *flow item* no *buffer* de saída. Quando a *label* do *flow item* tiver valor igual a 2, 3, 4 ou 5, a movimentação é feita pelo operador, nomeado pintor, com o auxílio do guindaste.

O *buffer* de entrada do posto de pintura especial é configurado no Flexsim® com duas *queues*, nomeadas “*buffer* de entrada”, que recebe os *flow items* com *label* 2, 3, 4 e 5, que são os *flow items* de pintura de acabamento, e “*buffer* de entrada 2”, que recebe o *flow item* com *label* 1, que representa a pintura preliminar. Conforme citado na seção 3.3.1, essas áreas comportam 77 *flow items*. Para transferir esta realidade ao Flexsim®, o campo “*max content*” está com a indicação de 77 unidades divididas entre “*buffer* de entrada” e “*buffer* de entrada 2”, proporcionalmente dividida conforme informações expressas no quadro 8. Uma *trigger* está configurada nestas *queues*, onde se atribui uma *label* que nomeia o tipo do *flow item* que entra em processo, e esta ação está representada no Flexsim® como “*on entry, set label*”. A *queue* “*buffer* de entrada”, que recebe os *flow items* a serem movimentados por guindaste, tem uma outra *trigger* configurada na entrada, onde os *flow items* com *labels* maiores são priorizados. O motivo para esta configuração é em função de priorizar as pinturas mais complexas e com maior quantidade de etapas. No Flexsim®, esta *trigger* está definida como “*on entry, sort by expression, order descending*”.

As customizações ligadas às ações de sincronizar o guindaste com o operador são desenhadas no *process flow* porque o operador nomeado pintor controla o guindaste. Assim, sempre que o guindaste for acionado, o pintor também se ocupa para controlá-lo. A figura 20 expõe esta construção dentro do *process flow*.

Figura 20: *Process flow* para sincronização entre guindaste e pintor



Autor: Autoria própria.

4.6.1.3 Referente ao processo de pintura

O processo de pintura especial está representado por um *processor* nomeado no Flexsim® como “Pintura”. Como o posto de pintura processa um *flow item* por vez, a opção do Flexsim® “*max content*” está configurada para uma unidade. O tempo de processo é representado por uma distribuição Log-Laplace(E) e, assim, o Flexsim® recebe a atribuição na função *process time* de `loglaplace(295.504504. 224.495496. 5.563066)`. Os dados que formaram esta distribuição estão apresentados no apêndice A (tabela A.2 e figura A.2).

Para fidelizar a realidade, os tempos de *setup* do *processor* estão configurados em uma *global table* com referência às *labels* existentes. Esta *global table* se faz necessária para identificar sequências de *flow items* com a mesma *label*, que nesta condição acionam o *setup* parcial, que tem tempo encurtado em função da não necessidade de troca de tinta.

No Flexsim® a *global table* é interpretada pelo *software* quando a opção *setup* é configurada com “*if item label value changes*” – ainda assim, o valor deve ser ajustado para “`Table(“global table2”)[item.Type][1]`”, e a programação de parâmetros na linguagem de programação do *software* deve ser ajustada conforme exposto na figura 21, nas linhas 10, 11 e 12.

Figura 21: Programação de *Setup*

```

8 double case2 = /**\nOtherwise: *//**tag:ElseTime**/
9
10 if (getstream(current)==1){//If first item
11     return Table("GlobalTable2")[item.Type][1];
12 }
13
14 string labelname = /** \nLabel: *//**tag:label**/

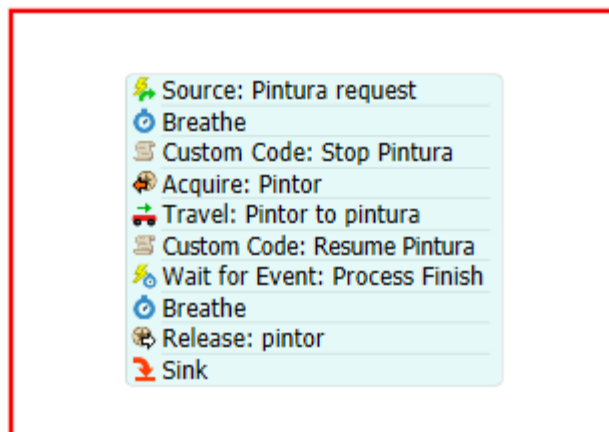
```

Autor: Autoria própria.

Para que o *setup* parcial seja realizado no Flexsim® na configuração do tempo de *setup*, a opção “*otherwise*” é preenchida com o tempo que representa esta função.

Os tempos de *setup* foram dimensionados com o estudo dos tempos extraídos por observação direta, chegando a uma distribuição *Weibull*(E) configurada no Flexsim® por uma *global table* com a expressão *weibull*(305.811474. 66.309121. 1.747705) para o *setup* completo e *weibull*(153.516069, 32.358819, 1.704368) para o *setup* parcial. O apêndice A (tabelas A.3 e A.4 e figuras A.3 e A.4) agrupam todo o tratamento de dados para a conclusão destas distribuições.

Um *process flow* também foi necessário para guiar as ações do pintor, que se divide entre ações de pintura e ações de movimentação do guindaste. A figura 22 representa o *process flow* que define as ações para pintura executada pelo pintor.

Figura 22: *Process flow* Atividades do pintor

Autor: Autoria própria.

4.6.1.4 Referente ao processo de secagem

O processo de secagem está representado no Flexsim® por um *processor* nomeado “Secagem”. Este *processor* representa o *trolley* manual onde os *flow items* aguardam o tempo

de cura da tinta aplicada. Como o *trolley* manual acomoda até 18 *flow items*, o *processor* secagem está configurado para 18 unidades em “*max content*”.

O processo de secagem acomoda *flow items* com tempos de secagem diferentes, os quais estão diretamente ligados às *labels* nos quais estão atribuídos. Nesta condição, a configuração deste *processor* se fez por meio de uma *global table* acionada na opção “*process time*” do Flexsim®. Esta *global table* faz referências a todas as *labels* presentes no processo atreladas ao tempo de secagem. O quadro 9 mostra a dinâmica de mudanças de *labels* e os tempos do *processor* “secagem” de cada tipo de pintura, e também apresenta a mudança da *label* para cada camada de tinta.

Quadro 9: Sequência de *labels* e tempos de processo

Processo de pintura	Camadas de Tinta	Mudanças das <i>Labels</i>	Tempo de secagem por camada (Minutos)
Pintura preliminar	1	*	40
Pintura de Acabamento	1	*	240
Pintura de 2 camadas	2	2;22	480
Pintura de 3 camadas	3	3;310;320	480
Pintura de 4 camadas	4	4;41;420;4100	480
(*) Não se aplica			

Autor: Autoria própria.

Foram inseridas, no modelo, 5 *queues* em sequência do processo de secagem. Estas *queues* são responsáveis por alterar a *label* dos *flow items* que terão que ser reprocessados. Estas *labels* são alteradas e devolvidas ao processo de pintura e cada uma delas tem capacidade de 1 *flow item*. Na coluna “Mudanças de *Labels*”, no quadro 9, está expressa a sequência de mudança de *labels* de cada tipo de pintura.

Após finalizado o processo de secagem, os *flow items* são dispostos no *buffer* de saída para, assim, deixarem o posto de pintura especial

4.6.1.5 Referente ao destino dos *flow items* processados

O *buffer* de saída do posto de pintura especial é configurado no Flexsim® com uma *queue* nomeada “*buffer de saída*”. Conforme citado na seção 3.3.1, esta área comporta 3 paletes que são capazes de acomodar 24 *flow items*. Esta *queue* está configurada para entregar os *flow items* com *label* 1 para o *buffer* da linha de montagem de motores, e as demais *labels*, que representam *flow items* com acabamento, para o *buffer* de expedição. Esta configuração está representada no Flexsim® na opção “*output – port by case*”.

A figura 23 é uma fotografia real do posto de pintura especial que foi idealizada as características do modelo para simulação apresentadas nas seções 4.6.1.1 até a 4.6.1.5.

Figura 23: Posto de pintura especial



Autor: Autoria própria.

4.6.1.6 Referente ao destino

Quando os *flow items* são dispostos no *buffer* da saída, eles aguardam a coleta para os processos subsequentes. As *labels* são as definidoras do destino de cada *flow item*. O *buffer* de entrada da linha de motores recebe *flow items* que tem *label* de valor número 1. As *labels* com valores 5, 22, 320 e 4100 são destinadas para o *buffer* da expedição.

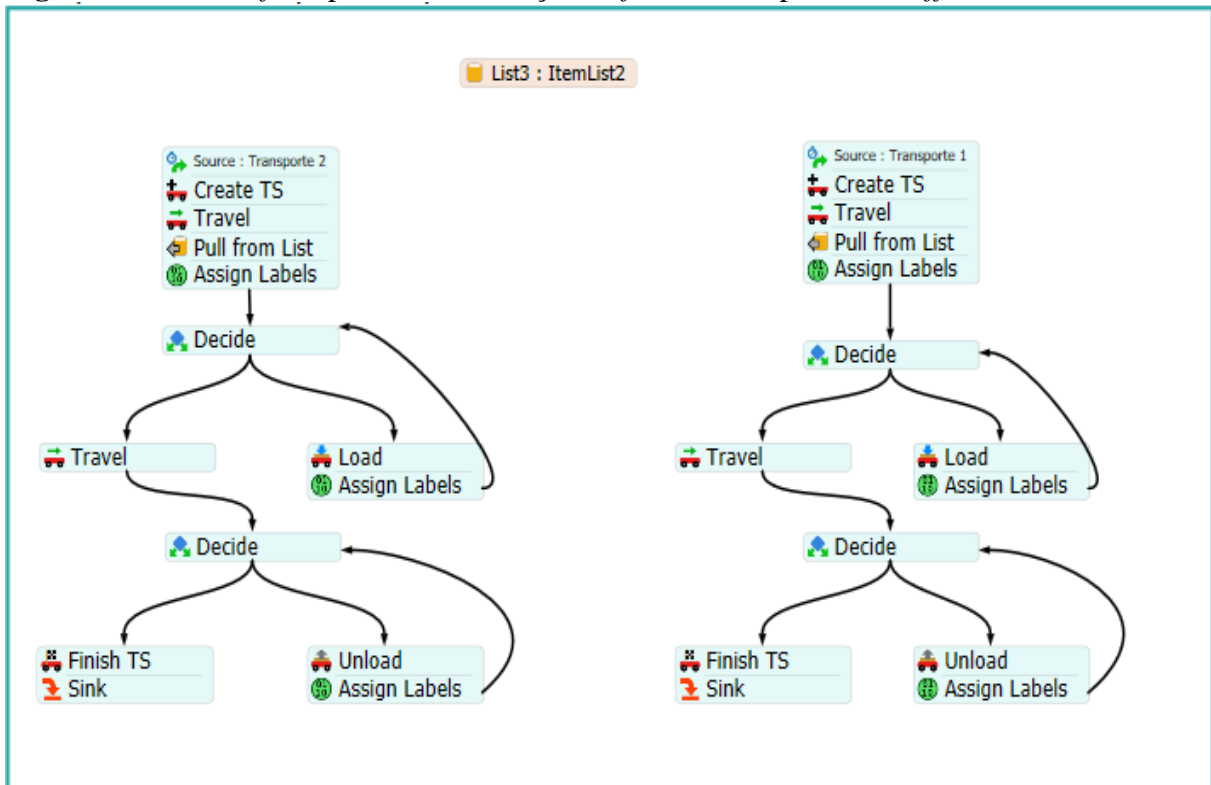
O *buffer* de entrada na linha de motores é configurado no Flexsim® com uma *queue* nomeada “*buffer* linha de motores”. Conforme citado na seção 3.3.1, esta área comporta 12 paletes que são capazes de acomodar 66 *flow items*. A única configuração nesta *queue* é “*max content*” para 66 *flow items*.

O *buffer* de expedição é configurado no Flexsim® com uma *queue* nomeada “*buffer* expedição”. Conforme citado na seção 3.3.1, esta área comporta 4 paletes que são capazes de acomodar 16 *flow items*. A única configuração nesta *queue* é “*max content*” para 16 *flow items*. Os processos seguintes a entrega dos *flow items* no *buffer* da expedição e no *buffer* da linha de motores não serão representados, por isso uma “*sink*” consome os *flow items* do modelo.

Para o funcionamento do escoamento dos *flow items* em espera no *buffer* de saída do posto de pintura especial foi necessário o controle com *process flow*, e este fluxo foi desenhado

para as coletas serem acionadas por uma determinada distribuição estatística. Estas distribuições correspondem a beta(862.721940, 63793.181698, 9.646635, 4.285563) e inversegaussian(3651.040337, 20683.726018, 90950.710668) para coletas com destino à expedição e à linha de motores, respectivamente. O apêndice A (tabelas A.5 e A.6 e figuras A.5 e A.6) agrupam todo o tratamento de dados para a conclusão destas distribuições. A figura 24 representa o fluxo desenhado no *process flow* para o funcionamento destas funções.

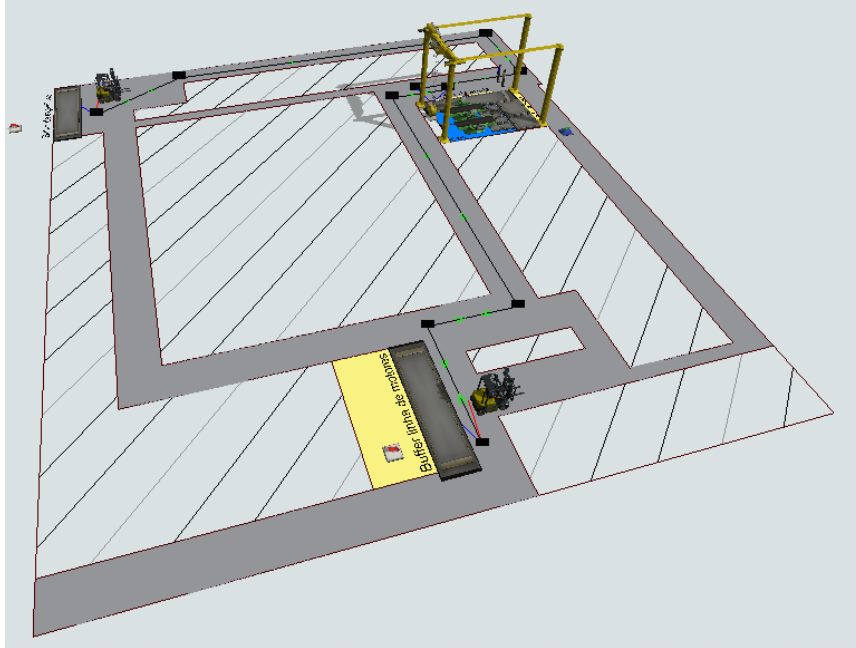
Figura 24: *Process flow* para movimentação de *flow items* a partir do *buffer* de saída



Autor: Autoria própria.

A modelagem que representa a situação atual está representada na figura 25 e segue as diretrizes expostas na figura 17.

Figura 25: Modelo que representa a situação atual



Autor: Autoria própria.

4.6.2 Modelo proposto com AGV *deck lift*

Este modelo representa a inserção do AGV na rotina de transporte dos produtos concluídos no posto de pintura especial. Este modelo propõe transporte dos *flow items* concluídos sempre que estiverem disponíveis no *buffer* de saída do posto pelo caminho mais curto, além de um carregamento de bateria automático por oportunidade.

As mudanças em relação ao modelo atual, apresentado na seção 4.6.1, são exclusivamente efetuadas no transporte para o destino dos *flow items* a partir do *buffer* de saída do posto de pintura especial. Para isso, foi incluído o AGV como executor do transporte sobre um *layout* convencional (seção 2.2.1.4), onde o veículo trafega em caminhos bidirecionais e tem acesso direto aos pontos de carregamento e descarregamento.

Neste modelo, o AGV coleta os *flow items* assim que eles ficam prontos. Em relação ao processo produtivo, o *status* do tempo de passagem dado pelo pintor no sistema ERP da empresa indica o término do ciclo do *flow item* processado, e este *status* é o gatilho de chamada do AGV que responderá automaticamente sem intervenção do operador.

O veículo selecionado é o AGV com *deck lift* incorporado, pois, assim, o AGV é capaz de carregar e descarregar os *flow items* sem a ajuda humana. Para este processo, é necessário estruturas metálicas similares a um palete. Estas estruturas possuem apoios longos, permitindo

que o veículo AGV entre embaixo para manobrar e suspender os *flow items* a serem transportados. A figura 26 exemplifica esta estrutura.

Figura 26: Estrutura metálica para AGV tipo *deck lift*

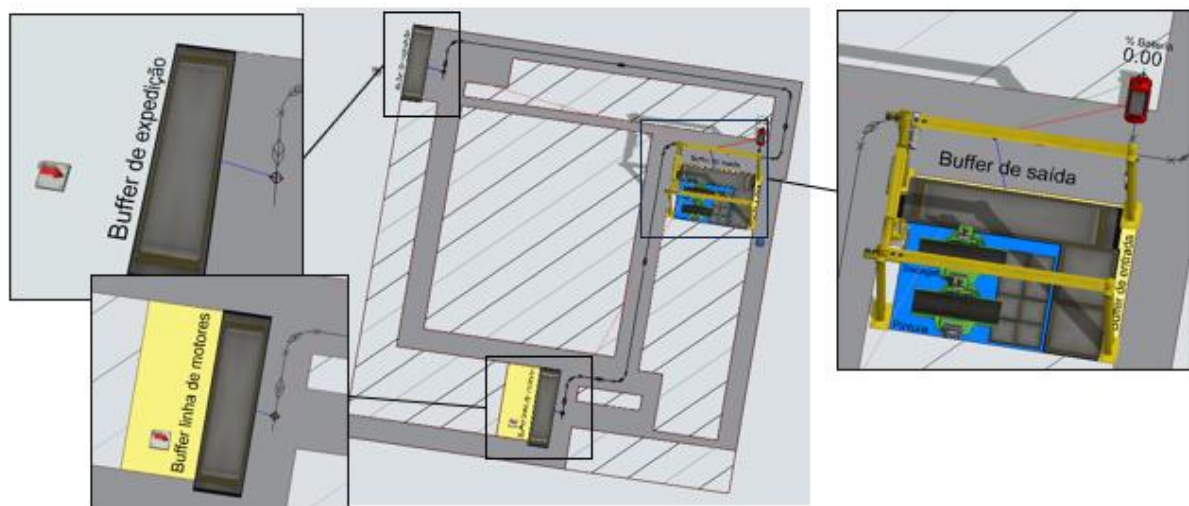


Fonte: Acervo da empresa.

Esta configuração permite, além de autonomia, precisão ao AGV, proporcionando que sempre que o pintor acusar um produto pronto, o AGV consegue perceber a carga e seu destino, agindo sem a interferência humana e acusando rastreabilidade.

A figura 27 expressa o modelo com o AGV inserido.

Figura 27: Representação situação proposta com AGV *deck lift* no Flexsim®

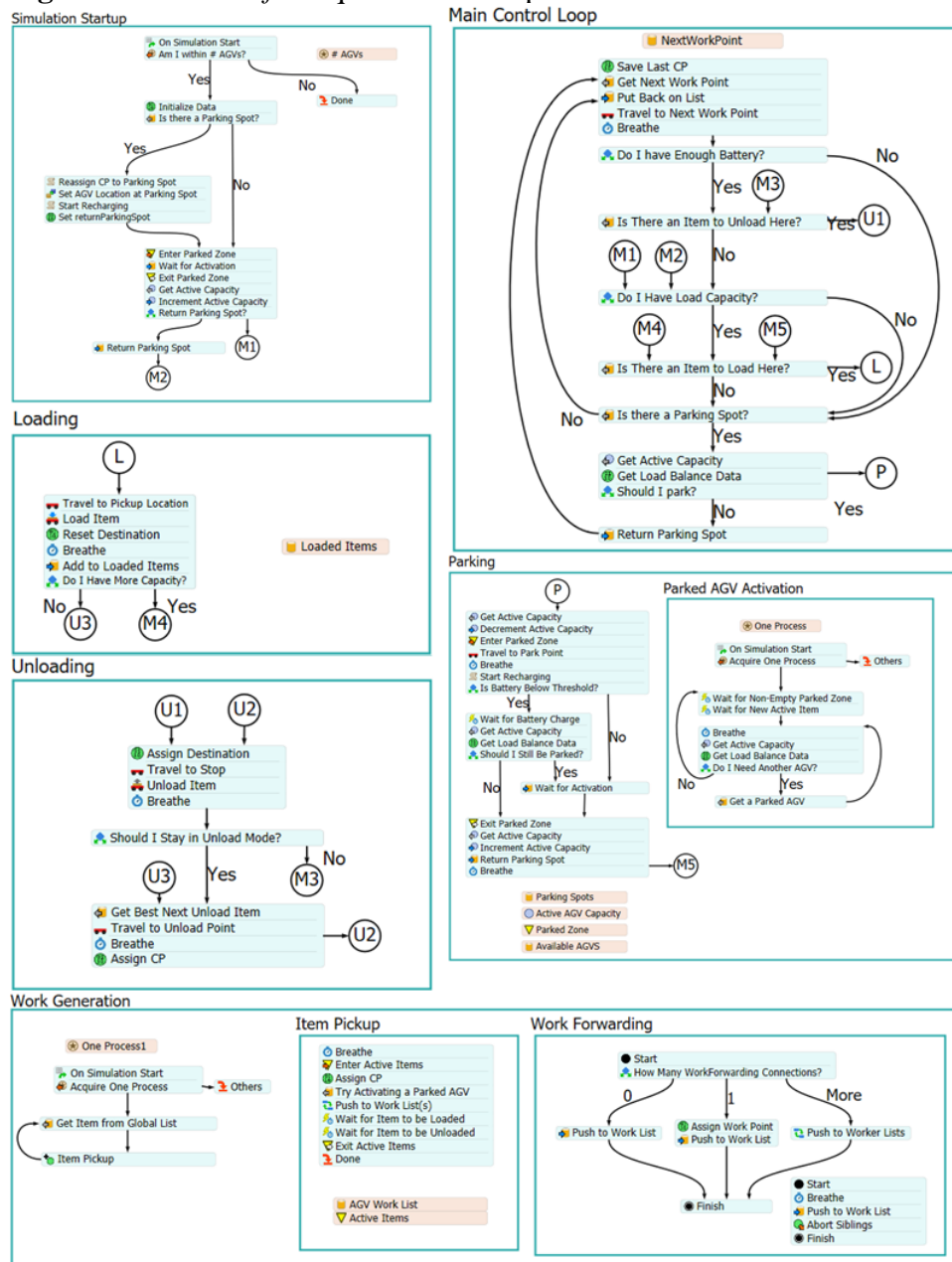


Fonte: Autoria própria.

O *software* Flexsim® fornece opções de roteamento de AGV's, no qual um *process flow* referenciado ao veículo define o comportamento no modelo, de modo que a opção "AGV with

“*heuristic parking*” foi adaptada para o sistema de coleta dos itens concluídos que partem do posto de pintura especial. Esta arquitetura entregue no *process flow* é um recurso pronto oferecido pelo Flexsim® capaz de reger a condução do veículo no sistema. Este *process flow* controla o fluxo do veículo por tipo de processo, incluindo os gatilhos de necessidade, os requisitos do transporte, os carregamentos e descarregamentos de carga, a estratégia de recarga de bateria. A figura 28 mostra a construção do *process flow* que define o comportamento de movimento, de carregamento de bateria, de carregamento e descarregamento de carga.

Figura 28: *Process flow* que define comportamento do AGV



Fonte: Autoria própria.

Para a representação do AGV no modelo, parâmetros técnicos do veículo AGV foram selecionados de acordo com o manual de operação do fabricante do AGV, e dentre eles estão as velocidades e a capacidade de carga da bateria. A tabela 1 apresenta todas as características técnicas consideradas nesta simulação.

Tabela 1: Especificações técnicas do AGV

Configurações	
Aceleração	0,25 m/s ²
Desaceleração	0,7 m/s ²
Velocidade em linha reta	1,4 m/s
Velocidade em curva	0,2 m/s
Velocidade de ré	0,2 m/s
Consumo de bateria vazio	5A
Consumo de bateria carregado	10A
Capacidade de bateria	170 AH
Capacidade de recarga	60A
Dimensões	800 x 1200mm

Fonte: Autoria própria.

4.6.3 Modelo com AGV rebocador

Este modelo representa a inserção de um AGV rebocador capaz de transportar até dois vagões. O funcionamento deste AGV se difere do modelo proposto no item 4.6.2 porque ele aguarda pelo menos 1 vagão completar sua capacidade máxima para que o AGV seja acionado para o transporte. A rota em que o AGV rebocador faz para a execução do trabalho se difere do AGV *deck lift* porque existe limitação no espaço necessário às manobras no AGV quando acoplado ao(s) vagão(ões).

Sendo assim, faz-se necessário a utilização de estrutura de metal com rodízios, que funciona como um vagão. Estas estruturas já estão disponíveis na empresa em outra aplicação e podem ser aproveitadas para os AGV's. A figura 29 mostra esta estrutura que comporta exatamente um palete de tamanho padrão.

Assim, cada estrutura seria capaz de comportar 8 produtos com pintura preliminar finalizados no Flexsim® representados pelos *flow items* de *label* 1; ou 4 produtos com pintura de acabamento representados no Flexsim® pelos *flow items* de *labels* 5, 22, 320 e 4100.

Figura 29: Vagão proposto para uso no AGV rebocador

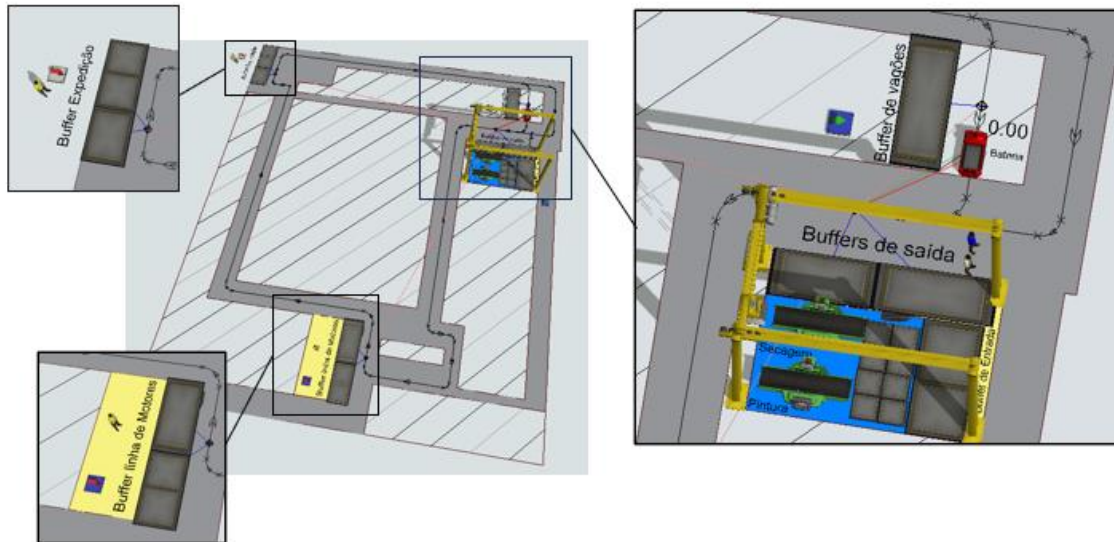


Autor: Autoria própria.

Este modelo dispensa o *process flow* para roteamento, como utilizado no modelo apresentado na seção 4.6.2, e ele tem um funcionamento simples capaz de ser parametrizado com as conexões de objetos do Flexsim®.

Para o funcionamento deste modelo, o roteamento do veículo é configurado em *loop* único com caminho unidirecional (seção 2.2.1.4), selecionado pelo espaço disponível do veículo para realizar manobras e para otimizar a rota de entregas quando carregado. Neste sentido, o veículo parte sempre do *buffer* de saída do posto de pintura especial fazendo a primeira parada no *buffer* da linha de motores e depois no *buffer* de expedição para então voltar ao ponto de carregamento de bateria. Além da carga que fica disponível no posto de pintura especial, o AGV também busca no *buffer* da linha de motores e da expedição os vagões vazios, alocando-os no *buffer* ao lado da estação de carregamento. O tempo ocioso é utilizado pelo AGV para a recarga de bateria. A figura 30 mostra esta representação no Flexsim®.

Figura 30: Representação da situação proposta com AGV rebocador



Autor: Autoria própria.

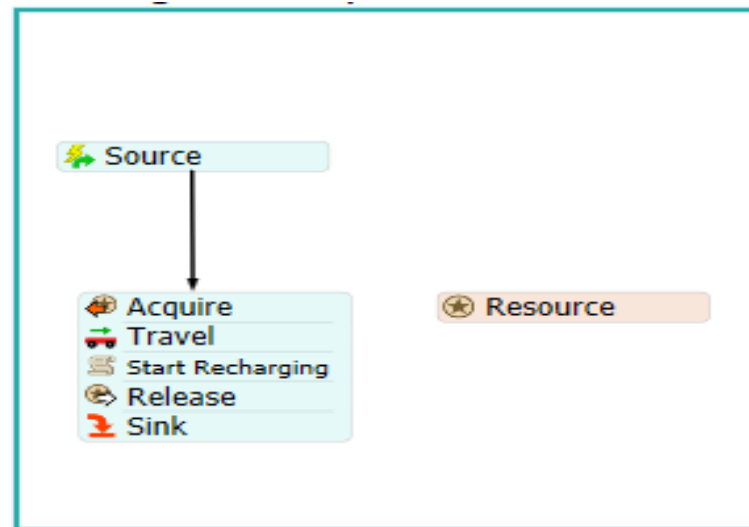
Freitas (2018) apresenta em seu estudo uma AGV rebocador com atraque automático. Este mecanismo será proposto também neste modelo, com a intenção de não ser necessária a intervenção humana para atraque e desatraque dos vagões ao AGV.

Para a inserção do AGV rebocador, faz-se necessário uma adequação ao *status* de tempo de passagem no ERP. Para que o AGV seja chamado, é preciso que pelo menos 1 vagão no *buffer* de saída esteja com a capacidade máxima embarcada, sendo necessário um contador no sistema que controla a quantidade de produtos que cada vagão recebe.

As configurações técnicas dos AGV's continuam as mesmas expressas na tabela 1.

Para o roteamento em *loop* único, o *process flow* foi utilizado apenas para o carregamento de bateria. Esta lógica está representada na figura 31, e na opção de AGV *Network* foi selecionada a opção “*attach loads as trailer*” para utilização do AGV como rebocador.

Figura 31: *Process flow* criado para carregamento de bateria



Autor: Autoria própria.

Para preparar o modelo, foi inserido mais uma *queue* no *buffer* de saída. Esta medida foi direcionada para que cada *queue* receba, agrupados no vagão, os *flow items* processados. A primeira *queue*, ainda nomeada *buffer* de saída, recebe agrupados os *flow items* que têm destino ao “*buffer* da linha de motores”, e a outra *queue* nomeada “*buffer* de saída47” recebe agrupados os *flow items* que têm destino ao “*buffer* de expedição”. Estas *queues* estão configuradas com a opção “*max content*” igual a 2, que indica a capacidade de 2 vagões cada.

Para a representação dos vagões, foi incluído no modelo dois *combiners* que antecedem as *queues* do “*buffer* de saída” e do “*buffer* de saída47”, de modo que estes *combiners* fazem a função de agrupar os produtos concluídos. Os vagões são representados no Flexsim® por paletes e entram na simulação a partir de uma *source* que abastece o “*buffer* de vagões”.

Após agrupados, a combinação de vagão e de *flow items* recebem uma *label* na entrada do “*buffer* de saída” e do “*buffer* de saída47”, sendo as *labels* 1 e 22, respectivamente, e elas possibilitam a coleta destes *flow items* pelo AGV.

Os pontos de entrega na linha de motores e na expedição foram desenhados de acordo com a funcionalidade do AGV rebocador entregar a carga e coletar os vagões vazios posteriormente. Com esta finalidade, estes pontos recebem 3 *queues*, 1 separador (“*separator*”) e 1 operador. Uma *queue* recebe os vagões com os *flow items* embarcados, que posteriormente são desagrupados no separador controlado por um operador; este separador envia para uma *queue* os *flow items* e para a outra *queue* os vagões. Se há vagões disponíveis na *queue*, o AGV já é acionado para dispô-lo no *buffer* de vagões próximo ao posto de pintura especial.

Uma *sink* é ligada à *queue* que recebe os *flow items* desagrupados, e esta *sink* consome os *flow items*, uma vez que a sequência do processo, que é a montagem de motores, não se faz necessária nesta representação.

4.6.4 Parâmetros da simulação

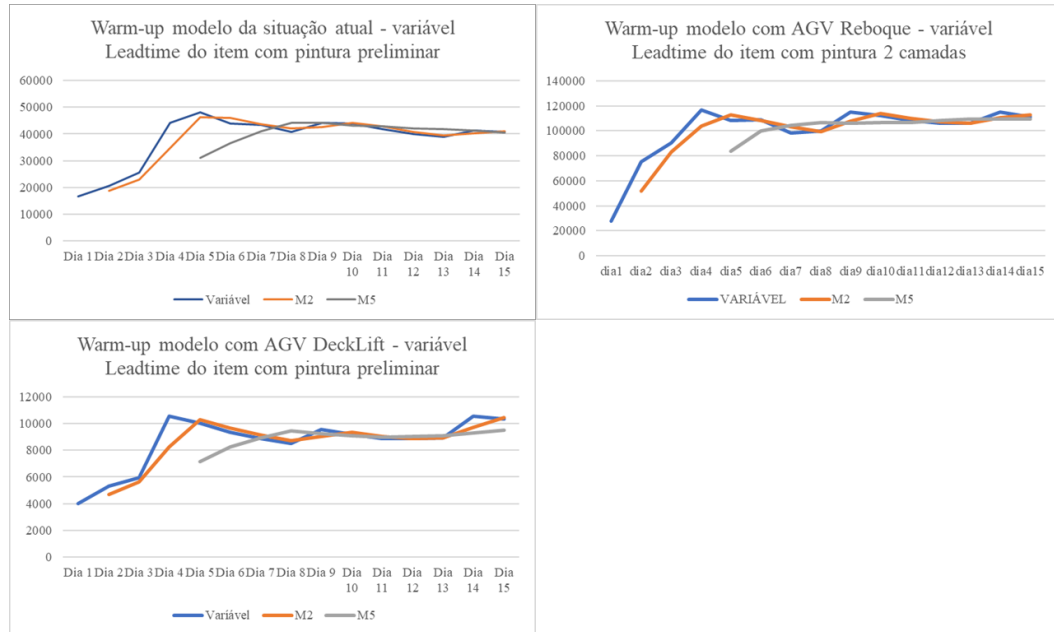
Para a fidelidade dos resultados, o tempo de simulação, o tempo de *warm-up* e o número de replicações são de suma importância porque bem dimensionados podem oferecer resultados mais próximos do real. Para extrair estes dados dos modelos de simulação, a ferramenta de “*performance measure*” do *software* Flexsim® foi utilizada, possibilitando o registro dos dados referentes às variáveis de pesquisa de cada replicação dos modelos.

A definição do tempo de *warm-up* permite excluir o tempo que a simulação sai do ponto zero até o ponto de estabilidade do processo, característica de sistemas não terminais. Para definir o período de estabilidade do processo, este estudo teve por base as instruções de Chwif e Medina (2006). Assim, foi plotado um gráfico de cada modelo com dados médios de 5 replicações da simulação pelo período de 15 dias. Para auxiliar a decisão do ponto de estabilidade do processo, no mesmo gráfico estão plotadas as médias móveis para $m=2$ e $m=5$ dos mesmos dados. A análise empírica do gráfico define o tempo de *warm-up* utilizado para as simulações.

A variável de *lead time* foi definida para compor o gráfico, sendo avaliados os *lead times* referente aos 5 tipos de pintura existentes. A expressividade referente à quantidade de pinturas preliminares, que correspondem 77% das pinturas especiais, e o *lead time* mais longo dentre todos foram o ponto de decisão da variável que definiu o tempo de *warm-up*.

A figura 32 mostra os gráficos que definiram como tempo de *warm-up* 8 dias para todos os modelos.

Figura 32: Gráficos para definição de *warm-up*



Fonte: Autoria própria.

Conforme já citado na seção 3.3.1, a simulação deve ser rodada pelo menos 10 vezes o tempo de *warm-up*. Assim, foram adotados 87 dias como tempo de simulação total, o qual abrangue o período entre 01/02/2023 até 01/06/2023.

A quantidade de replicações foi dimensionada pela precisão e intervalo de confiança estatística que são $\pm 3\%$ de precisão e 0,95 como intervalo de confiança, ambos apresentados como premissas desta dissertação no quadro 7.

Assim, o intervalo de confiança se dá pela equação (1):

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

Onde:

P é a distribuição de probabilidade;

\bar{x} é a média;

μ é o valor esperado;

h é a precisão e

α é a significância.

As precisões foram calculadas por meio da equação (2) abaixo:

$$h = t_{n-1, \frac{\alpha}{2}} \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

Onde:

$h = t_{n-1, \frac{\alpha}{2}}$ é percentil da distribuição t de Student com $n-1$ graus de liberdade;

S é o desvio padrão e

n é o número de replicações;

Assim, foram rodadas 10 replicações de cada modelo e calculadas suas médias, desvios padrões e precisão de todas as variáveis de pesquisa. A variável que apresenta valor mais distante da precisão é submetida a um cálculo (3) de ajuste, o qual é capaz de aproximar a quantidade de replicações ideal que atinja a precisão de $\pm 3\%$.

$$n^* = \left[n \left(\frac{h}{h^*} \right)^2 \right] \quad (3)$$

Onde:

n^* é número de replicações desejada;

n é o número de replicações atual;

h^* é a precisão desejada e

h é a precisão atual.

Depois do ajuste, a precisão foi novamente calculada para certificar que estejam dentro dos $\pm 3\%$. O modelo referente a situação atual (4.6.1) e o modelo com AGV *deck lift* (4.6.2) tiveram os valores de todas as variáveis dentro da precisão com apenas 1 ajuste. O modelo com AGV rebocador (4.6.3) necessitou de 2 ajustes para enquadrar os valores de todas as variáveis. A tabela 2 apresenta os resultados dos processos de parametrização do modelo referente à situação atual.

Tabela 2: Parametrização da simulação modelo atual

Variável	n = 10				n = 59			
	Média	Desv. Padrão	Precisão	Precisão %	Média	Desv. Padrão	Precisão	Precisão %
<i>Lead Time</i> pintura preliminar (min)	671,33	51,09	36,51	5,44%	697,98	69,87	18,19	2,61%
<i>Lead Time</i> pintura 2 camadas (min)	3161,60	155,77	111,32	3,52%	3171,42	196,29	51,11	1,61%
<i>Lead Time</i> pintura 3 camadas (min)	4005,05	262,89	187,88	4,69%	4041,47	203,33	52,94	1,31%
<i>Lead time</i> pintura 4 camadas (min)	4888,34	327,45	234,02	4,79%	4882,68	224,80	58,53	1,20%
<i>Lead time</i> pintura acabamento (min)	1718,77	151,20	108,06	6,29%	1632,05	178,66	46,52	2,85%
Qtd. máxima no <i>buffer</i> de saída (un)	64	6	5	7,23%	64	7	2	2,73%
Tempo de espera médio no <i>buffer</i> de saída (min)	749,03	46,28	33,08	4,42%	744,21	58,81	15,31	2,06%
Qtd. de produtos entregues na expedição (un)	1087	36	26	2,36%	1091	27	7	0,65%
Qtd. de produtos entregues na linha de motores (un)	3712	81	58	1,56%	3697	48	13	0,34%

Fonte: Autoria própria.

É possível notar que, com 10 replicações deste modelo e confiança de 0,95, sete variáveis, expressas na tabela sob a cor amarela, ultrapassam a precisão de $\pm 3\%$. Assim, o cálculo de ajuste (3) é feito com a variável mais distante desta precisão, que, neste caso, é a variável que expressa a quantidade máxima de produtos presente no *buffer* de saída. As condições ajustadas para 59 replicações resultam da precisão desejada de $\pm 3\%$. Esta tabela está ajustada para as variáveis com unidade de tempo em minutos e as variáveis referente a unidade estão ajustadas sem nenhuma casa decimal. Outro fato é que a tabela não apresenta dados de distância percorrida de transporte e de disponibilidade de veículos, uma vez que na situação atual não existe transporte dedicado para o escoamento da produção que parte do posto de pintura especial.

Para os modelos com a inserção do AGV com *deck lift* (4.6.2) e com AGV rebocador (4.6.3), as tabelas 3 e 4 representam a parametrização desta simulação.

Tabela 3: Parametrização da simulação modelo de AGV com *deck lift*

Variável	n = 10				n = 314			
	Média	Desv. Padrão	Precisão	Precisão %	Média	Desv. Padrão	Precisão	Precisão %
<i>Lead Time</i> pintura preliminar (min)	148,34	6,57	4,70	3,17%	146,73	11,61	1,28	0,88%
<i>Lead Time</i> pintura 2 camadas (min)	1656,92	49,08	35,07	2,12%	1675,38	40,83	4,52	0,27%
<i>Lead Time</i> pintura 3 camadas (min)	2438,06	63,42	45,32	1,86%	2398,41	115,39	12,76	0,53%
<i>Lead time</i> pintura 4 camadas (min)	3231,01	160,46	114,68	3,55%	3233,41	198,94	22,00	0,68%
<i>Lead time</i> pintura acabamento (min)	112,40	26,43	18,89	16,80%	128,03	34,68	3,84	3,00%
Distância transporte	600337,34	3513,87	2511,27	0,42%	601621,12	3738,85	413,55	0,07%
Utilização do veículo (%)	23,70%	0,48%	0,35%	1,46%	23,62%	0,51%	0,06%	0,24%
Qtd. máxima no <i>buffer</i> de saída (un)	10	1	1	8,54%	10	1	0,13	1,38%
Tempo de espera médio no <i>buffer</i> de saída (min)	6,36	1,34	0,96	15,10%	6,21	1,08	0,12	1,92%
Qtd. de produtos entregues na expedição (un)	1085	20	14	1,33%	1084	25	3	0,25%
Qtd. de produtos entregues na linha de motores (un)	3642	35	25	0,69%	3654	36	4	0,11%

Fonte: Autoria própria.

Tabela 4: Parametrização da simulação modelo de AGV com rebocador

Variável	n = 10				n = 106				n = 261			
	Média	Desv. Padrão	Precisão	Precisão %	Média	Desv. Padrão	Precisão	Precisão %	Média	Desv. Padrão	Precisão	Precisão %
Lead Time pintura preliminar (min)	315,21	12,47	8,91	2,83%	319,95	15,49	2,98	0,93%	320,08	15,10	1,85	0,58%
Lead Time pintura 2 camadas (min)	1851,08	35,76	25,55	1,38%	1874,67	48,54	9,35	0,50%	1874,00	47,68	5,84	0,31%
Lead Time pintura 3 camadas (min)	2733,81	71,49	51,09	1,87%	2704,44	143,68	27,67	1,02%	2709,20	137,89	16,89	0,62%
Lead time pintura 4 camadas (min)	3448,41	235,12	168,04	4,87%	3543,31	253,98	48,92	1,38%	3546,79	255,08	31,25	0,88%
Lead time pintura acabamento (min)	432,97	58,96	42,14	9,73%	413,18	58,18	11,21	2,71%	412,08	56,84	6,96	1,69%
Distância transporte	256252,1	17018,9	12163	4,75%	240731,6	42831,2	8249,5	3,43%	241643,1	43669,4	5349,9	2,21%
Utilização do veículo (%)	10,90%	0,32%	0,23%	2,07%	10,65%	0,63%	0,12%	1,14%	10,65%	0,63%	0,08%	0,73%
Qtd. máxima no buffer de saída (un)	3	0	0	0,00%	3	0	0,00	0,00%	3	0	0,00	0,00%
Tempo de espera médio no buffer de saída (min)	5,43	0,28	0,20	3,68%	6,08	1,35	0,26	4,28%	6,08	1,35	0,17	2,72%
Qtd. de produtos entregues na expedição (un)	1088	43	31	2,84%	1101	99	19,10	1,74%	1103	105	12,88	1,17%
Qtd. de produtos entregues na linha de motores (un)	3689	41	29	0,80%	3678	280	54	1,46%	3682	299	37	1,00%

Fonte: Autoria própria.

As simulações configuradas conforme as tabelas 2, 3 e 4 permitem que os dados coletados por meio da simulação estejam dentro do intervalo de confiança e precisão proposto.

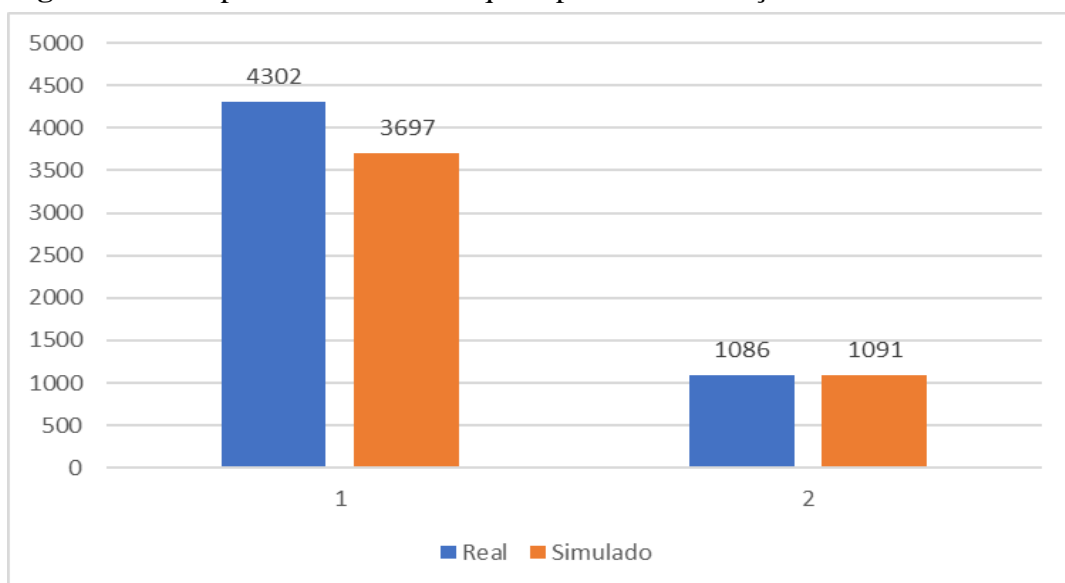
4.6.5 Verificação dos modelos

Dentre as técnicas apresentadas por Chwif e Medina (2006), a utilização do depurador é a mais simples e precisa de se utilizar. Disponível no *software* Flexsim®, esta ferramenta foi utilizada à medida que os modelos foram construídos, de modo que os erros apresentados no percurso de construção são expostos pelo depurador. Esta ferramenta se mostra extremamente importante se testarmos os modelos por partes, porque permite que os erros sejam evidenciados e corrigidos pontualmente.

4.6.6 Validação dos modelos

Para poder comparar o real ganho da inserção do AGV, o modelo que representa a situação atual deve traduzir a realidade da empresa. Assim, faz-se necessário comparar o resultado obtido nas simulações com o cenário atual. Esta comparação será realizada por meio da produção total e da utilização do espaço do *buffer* de saída entre o período de 01/02/2023 a 01/06/2023, sendo dividida entre os produtos entregues na linha de motores e os produtos entregues na expedição, e a quantidade máxima de produtos dispostos no *buffer* de saída. Os dados analisados são de origem das replicações apresentadas na tabela 2 e da produção real entre períodos de 01/02/2023 até 01/06/2023. A figura 33 sintetiza este comparativo.

Figura 33: Comparativo do modelo que representa a situação atual: simulado vs real



Fonte: Autoria própria.

Ao analisar o gráfico acima, é possível observar que os produtos entregues na expedição, representados no segundo grupo de barras do gráfico, têm uma variação na quantidade de produtos finalizados entre a simulação e o real muito pequena (0,46%) em comparação com os produtos entregues na linha de motores (14,06%). Para uma análise quantitativa, as tabelas 5 e 7 registram os resultados.

Tabela 5: Comparação entre os produtos entregues na expedição (simulação vs real)

Condição	Limite Inferior	Média	Limite Superior	Confiança	Precisão
Simulado	1058	1091	1124	95%	3%
Condição	Produção real				
Real	1086				

Fonte: Autoria própria.

Nota-se que o valor real se apresenta dentro dos limites do intervalo de confiança, atendendo a precisão proposta nesta dissertação. A produção entregue na expedição é composta por produtos com pintura de 1, 2, 3 e 4 camadas de tinta. A tabela 6 fragmenta esta análise apresentando a comparação entre o real e o simulado dos itens que têm a expedição como destino.

Tabela 6: Composição dos produtos entregues na expedição (simulação vs real)

Pintura	Proporção real		Proporção simulada		Diferença %
	Qtd	%	Qtd	%	
Pintura Acabamento	161	14,83%	139	13,02%	1,81%
Pintura 2 camadas	719	66,21%	741	69,57%	-3,36%
Pintura 3 camadas	165	15,19%	140	13,13%	2,18%
Pintura 4 camadas	41	3,78%	46	4,32%	-0,62%

Fonte: Autoria própria.

A comparação entre o real e o simulado permite observar uma diferença pequena entre ambas as proporções, sendo a maior de 3,36%. Ajustes nestas proporções serão desprezadas, uma vez que a demanda total que deve ser escoada do posto de pintura especial até a expedição está dentro da margem de precisão, com uma diferença de 0,46% entre a simulação e o real.

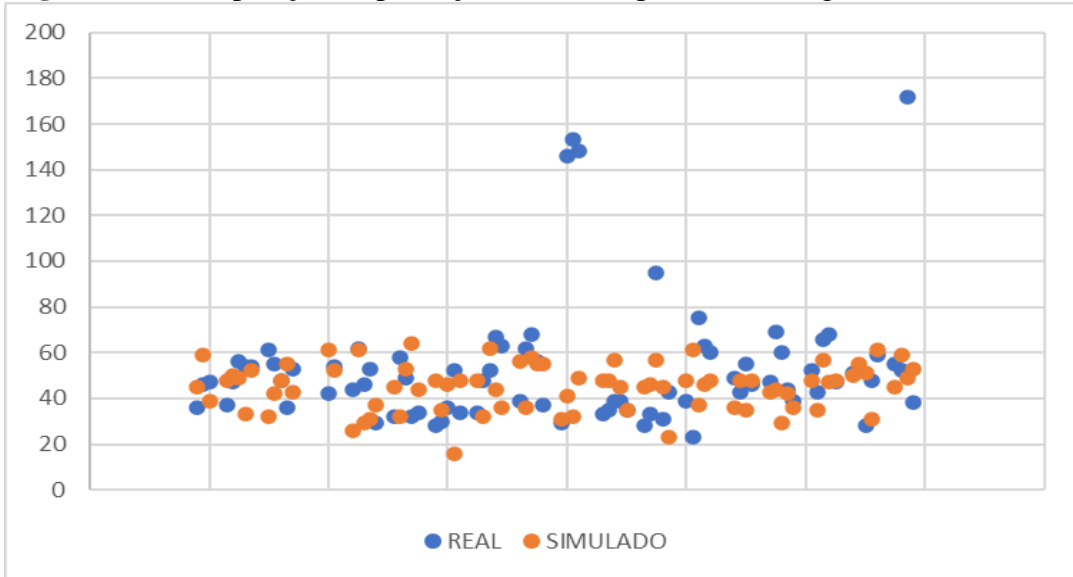
Tabela 7: Comparação produtos entregues na linha de motores (simulação vs real)

Condição	Limite Inferior	Média	Limite Superior	Confiança	Precisão
Simulado	3586	3697	3808	95%	3%
Condição	Produção real				
Real	4302				

Fonte: Autoria própria.

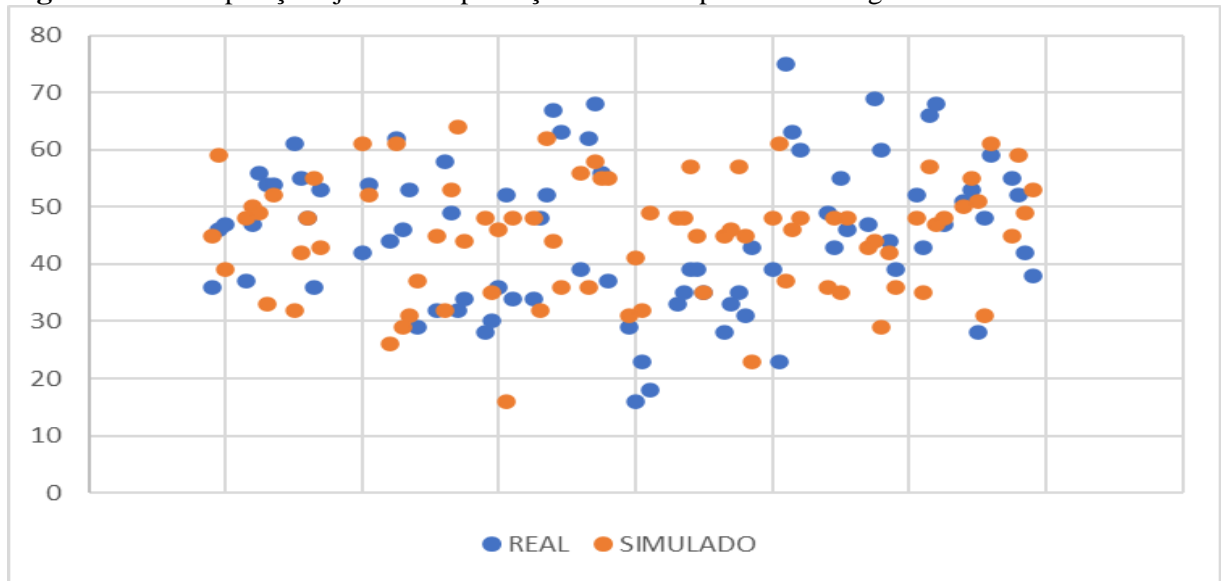
Os produtos entregues na linha de motores não ficam dentro do intervalo de confiança. Este desvio pode se dar por picos pontuais de produção ou os dados de entrada precisam de ajuste com amostras mais robustas. Para entendimento desta divergência, a produção diária do modelo de simulação que representa a situação atual e a situação real foram sobrepostas em um gráfico de dispersão. Os resultados podem ser observados na figura 34.

Figura 34: Sobreposição da produção diária dos produtos entregues na linha de motor



Fonte: Autoria própria.

O gráfico sugere *outliers* em 5 dias de produção tendo altas variações na produção real. Estes dias com produção acima da média foram investigados nos históricos de produção e se explicam pelo atendimento de lotes de 60 e 130 peças para um mesmo cliente com pinturas aplicadas de duas camadas. Para o atendimento destes lotes, foi ampliado a disponibilidade de mão de obra com mais pessoas para esta demanda em particular. Como o tempo de secagem deste tipo de pintura é baixo, foi possível entregar um resultado acima da média. A partir destas informações, um novo gráfico de dispersão foi plotado excluindo estes lotes, e o comportamento da produção pode ser comparado com a figura 35.

Figura 35: Sobreposição ajustada da produção diária dos produtos entregues na linha de motor

Fonte: Autoria própria.

Com a exclusão dos 5 lotes (*outliers*), a distribuição da produção real e simulada se mostram mais uniformemente distribuídas. Assim, a tabela 8 apresenta os valores ajustados.

Tabela 8: Comparação ajustada produtos entregues na linha de motores (simulação vs real)

Condição	Limite Inferior	Média	Limite Superior	Confiança	Precisão
Simulado	3586	3697	3808	95%	3%
Produção real					
Real			3722		

Fonte: Autoria própria.

Uma outra variável utilizada para a validação do modelo é a quantidade máxima de produtos dispostos no *buffer* de saída do posto de pintura especial. O *buffer* de saída, que tem capacidade de 32 produtos, foi configurado no modelo de simulação propositalmente com 1000 produtos na opção “*max content*”. Existe um problema na organização neste posto devido ao acúmulo de produtos dispostos para o transporte. A figura 23 é uma fotografia que mostra que as delimitações do posto de pintura especial são violadas, uma vez que a área do *buffer* deve ser dentro dos limites da faixa amarela marcada no chão. A configuração com 1000 produtos permite que a simulação não trave enquanto a quantidade de produtos disponíveis no *buffer* não é escoada. O resultado da simulação apresentou que o *buffer* de saída, no período de 01/02/2023 a 01/06/2023, teve em algum momento o valor máximo de 64 produtos aguardando escoamento para a expedição e/ou linha de motores. Este valor evidencia que a capacidade do *buffer* foi excedida.

Também para a validação foi consultado a opinião do gestor de produção, o qual entende que realmente a operacionalidade e o conceito representado pela simulação trazem a percepção de fidelidade à condição atual deste processo. Este tipo de validação “face a face” é indicado como uma das técnicas de validação propostas por Chwif e Medina (2006).

As análises presentes neste capítulo validam o modelo de simulação construído, permitindo que os resultados obtidos nos modelos previstos com AGV sejam confiáveis para a análise sobre a implantação do sistema AGV.

4.7 RESULTADOS

As seções seguintes apresentam os resultados das comparações entre os modelos.

4.7.1 Comparação entre modelos que representam a situação atual e modelo proposto com AGV *deck lift*

A comparação permite verificar as vantagens e desvantagens operacionais da inserção do AGV *deck lift* para fazer o escoamento da produção partindo do posto de pintura especial. Assim, a tabela 9 foi criada para que, paralelamente, os valores obtidos nas tabelas 2 e 3 possam ser comparados.

Tabela 9: Comparação do ganho com inserção do modelo com AGV *deck lift*

Comparativos	Atual	AGV <i>deck lift</i>	Ganho c/ AGV
<i>Lead time</i> pintura preliminar (min)	698.0	146.7	78.98%
<i>Lead time</i> pintura 2 camadas (min)	3171.4	1675.4	47.17%
<i>Lead time</i> pintura 3 camadas (min)	4041.5	2398.4	40.65%
<i>Lead time</i> pintura 4 camadas (min)	4882.7	3233.4	33.78%
<i>Lead time</i> pintura acabamento (min)	1632.0	128.0	92.16%
Qtd. máxima no <i>buffer</i> de saída (un)	64	10	84.76%
Tempo de espera médio no <i>buffer</i> de saída (min)	744.2	6.2	99.17%
Qtd. de produtos entregues na expedição (un)	1091	1084	-0.67%
Qtd. de produtos entregues na linha de motores (un)	3697	3654	-1.17%

Fonte: Autoria própria.

É possível observar ganhos significativos no *lead time* de todos os produtos submetidos aos 5 tipos de pintura praticados no posto de pintura especial. Este resultado está diretamente ligado a característica para a qual o AGV *deck lift* foi proposto: coletar todo tipo de material assim que finalizado. Este reflexo no *lead time* também é expresso no tempo de espera médio de cada produto finalizado no posto, que cai de 12 horas para 6 minutos, valor 120 vezes menor.

A consequência da agilidade no transporte permite que o *buffer* de saída do posto não fique sobrecarregado, e esta afirmação se comprova ao comparar a quantidade máxima de produtos aguardando o transporte no *buffer*. Duas das variáveis medidas tiveram desprezíveis pioras, que são a quantidade final de produtos entregues em seus respectivos destinos; estas diferenças somam 43 produtos, que representam menos de 1% da produção total no período.

4.7.2 Comparação entre o modelos que representam a situação atual e modelo proposto de AGV rebocador

Para medir a melhora do processo com a inserção do AGV rebocador, a tabela 10 foi criada para avaliar o comportamento das variáveis.

Tabela 10: Comparação do ganho com inserção do modelo com AGV rebocador

Comparativos	Atual	AGV Rebocador	Ganho c/ AGV
Lead time pintura preliminar (min)	698.0	320.1	54.14%
Lead time pintura 2 camadas (min)	3171.4	1874.0	40.91%
Lead time pintura 3 camadas (min)	4041.5	2709.2	32.97%
Lead time pintura 4 camadas (min)	4882.7	3546.8	27.36%
Lead time pintura acabamento (min)	1632.0	412.1	74.75%
Qtd. máxima no <i>buffer</i> de saída (un)	64	3.00	95.30%
Tempo de espera médio no <i>buffer</i> de saída (min)	744.2	6.1	99.18%
Qtd. de produtos entregues na expedição (un)	1091	1103	1.11%
Qtd. de produtos entregues na linha de motores (un)	3697	3682	-0.42%

Fonte: Autoria própria.

A inserção do AGV rebocador, assim como do AGV *deck lift*, apresenta melhoras significativas principalmente nos *leads times*. O AGV rebocador faz viagens de transporte para expedição com 4 produtos no vagão e para a linha de motores com 8 produtos. Esta dinâmica, conforme expresso na tabela 10, expõe melhoras sob alguns tipos de pintura que chegam em quase 75% no *lead time*. A quantidade máxima de produtos aguardando coleta no *buffer* de saída tem valores 21 vezes inferiores, contudo, o modelo atual faz referência ao produto, e a simulação de AGV rebocador faz esta referência com o vagão composto por 4 ou 8 produtos. Ao considerar três vagões cheios aguardando coleta, conforme valor indicado na tabela 9, esta variável tem resultado 3 vezes menor. O tempo médio de espera do *buffer* também se apresenta com uma melhora significativa, caindo para 6,1 minutos, tempo este mais de 100 vezes menor em comparação ao modelo que representa a situação atual. A quantidade total de produtos

finalizados entregues em seus respectivos destinos não ostentaram melhora, tendo apenas 3 produtos finalizados a menos que a simulação com o AGV rebocador.

4.7.3 Comparação entre modelos propostos

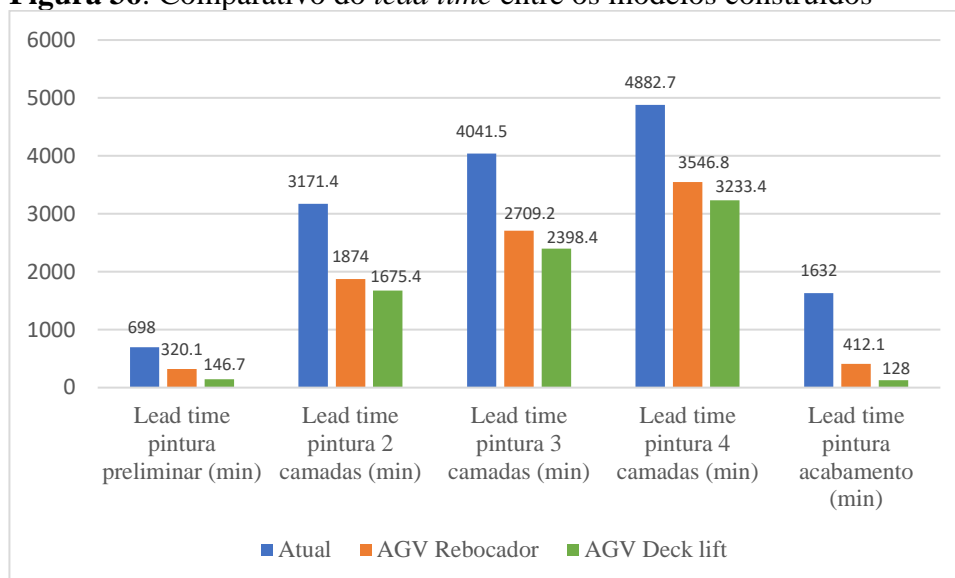
Foi possível observar nas análises das tabelas 9 e 10 que a inserção do AGV melhora o desempenho das operações no posto de pintura especial. Esta melhora se dá por conta da redução drástica do *lead time*, ocasionado por dispor um transporte automático e dedicado para escoamento da produção. A tabela 11 visa comparar as duas situações propostas.

Tabela 11: Comparação entre modelos com inserção do AGV

Comparativos	AGV Deck Lift	AGV Rebocador	Ganho c/ AGV Deck Lift
<i>Lead time</i> pintura preliminar (min)	146.7	320.1	118.15%
<i>Lead time</i> pintura 2 camadas (min)	1675.4	1874.0	11.86%
<i>Lead time</i> pintura 3 camadas (min)	2398.4	2709.2	12.96%
<i>Lead time</i> pintura 4 camadas (min)	3233.4	3546.8	9.69%
<i>Lead time</i> pintura acabamento (min)	128.0	412.1	221.86%
Distância transporte (m)	601621.1209	241643.12	-59.83%
Utilização do veículo (%)	24%	11%	-54.89%
Quantidade máxima no <i>buffer</i> de saída (un)	10	3.00	-69.19%
Tempo de espera médio no <i>buffer</i> de saída (min)	6.2	6.1	-2.02%
Qtd. de produtos entregues na expedição (un)	1084	1103	-1.79%
Qtd. de produtos entregues na linha de motores (un)	3654	3682	-0.76%

Fonte: Autoria própria.

A partir da tabela 11, nota-se que o AGV *deck lift* apresenta *leads time* com indicadores melhores. Este resultado se dá pela operação do AGV *deck lift* que se faz no momento em que o produto finalizado é disposto no *buffer* de saída, contrapondo o comportamento do modelo com o AGV rebocador que aguarda o vagão ser completo de 4 ou 8 produtos para realizar a coleta. A redução de *lead time* impacta na gestão, possibilitando avaliar de forma clara a real capacidade, podendo planejar a produção com mais fidelidade. Esta redução também é capaz de refletir ao cliente final que não é penalizado pelo atraso; este fator é extremamente importante, pois pode impactar em fidelidade e competitividade da empresa. Para uma melhor compreensão da redução do *lead time*, a figura 36 plota o comparativo entre os *lead times* dos três modelos construídos.

Figura 36: Comparativo do *lead time* entre os modelos construídos

Fonte: Autoria própria.

É notável que independentemente do modelo correspondente à inserção do AGV, ambos remetem a uma melhora expressiva em relação a diminuição do *lead time* quando comparado com o modelo que representa a situação atual.

Sobre a utilização do espaço, a quantidade máxima de produtos em espera no *buffer* é relativa nesta comparação, sendo 10 produtos contra 3 vagões, mas o reflexo pode ser projetado empiricamente sobre os operadores que, em ambas as situações, terão a possibilidade de trabalhar em um local mais organizado devido à grande diminuição de produtos finalizados em espera por transporte. O tempo de espera é um dado no qual ambos os modelos se equalizam nos valores, sendo em torno de 6 minutos em média, mas os modelos levam em consideração unidades diferentes, assim como na anterior comparação. Assim, um produto disposto no *buffer* de saída demora em média 6 minutos para ser transportado com AGV *deck lift* e um vagão com 4 ou com 8 produtos depois de carregado demora 6 minutos para ser transportado. Esta comparação é incompatível nestes moldes. Uma particularidade para a variável de tempo de espera no *buffer* de saída do AGV *deck lift* não ser muito mais rápida que o AGV rebocador se dá no processo de secagem que não cessa em nenhum momento (figuras 18 e 19), mesmos nos finais de semana. Assim, quando as operações no posto de pintura especial retornam, uma quantidade de produto acima do normal é disposta no *buffer*, e como AGV *deck lift* tem capacidade de 1 produto, o dissolver deste pico de produtos impacta neste indicador de tempo de espera no *buffer* de saída - como exemplo, na tabela 11, o máximo de produtos disposto no *buffer* de saída com AGV *deck lift* foram de 10 produtos.

Diferente das comparações com o modelo atual, que não possui transporte de produtos dedicado, nos modelos propostos com AGV a comparação do percentual de utilização dos veículos é válida. O AGV rebocador, por mais que tenha, em determinado momento, que buscar o vagão e disponibilizá-lo ao processo, ele transporta mais produtos de uma só vez. Esta característica faz com que a sua utilização seja mais baixa se comparar com AGV *deck lift*, que faz uma viagem para cada produto carregado. Assim, é possível notar que, na tabela 11, o AGV *deck lift* andou 360 km a mais que o AGV rebocador neste período e teve uma taxa de utilização de 24% contra 11% referente ao tempo disponível para o processo. Uma observação importante nestes percentuais é que o tempo de carregamento de bateria não faz parte do percentual de utilização dos AGV's. Quanto à quantidade de produtos entregues, o AGV rebocador tem singela vantagem de 47 produtos, menos de 1% de diferença em relação ao total.

5 CONCLUSÃO

O ponto de partida deste estudo foi solucionar o escoamento da produção que parte do posto de pintura especial, com o intuito de diminuir o *lead time* dos produtos por meio da diminuição no tempo de espera destes produtos no *buffer* da saída do posto, promovendo fluxo ágil destes produtos. A solução proposta foi a inserção de um AGV capaz de identificar chamadas de transporte e operar de forma autônoma para padronizar, como em outros setores da empresa, o transporte automático de produtos. O AGV é um recurso avançado para a movimentação interna e armazenagem de materiais no ambiente industrial, sendo que sua atuação em cooperação nos transportes em linha de produção tem um ganho expressivo de competitividade, aumento da produtividade e redução de custos, na qual se busca a otimização dos processos de movimentação de materiais por meio da automação (Almeida et al., 2019).

O retorno para o investimento em um sistema AGV é fundamentado através de um estudo de simulação que modela a situação atual e, com base neste modelo, projeta comportamentos com as melhorias propostas. Este presente trabalho simula duas situações propostas com o AGV tipo *deck lift* e com o AGV rebocador. Desta maneira, possibilita a compreensão da melhoria proposta, permitindo a análise de comportamento e correções de possíveis erros na concepção de projeto.

Para a construção dos modelos de simulação e *design* de sistemas AGV, este estudo compilou um referencial bibliográfico capaz de orientar esta arquitetura, com experiências de trabalhos já aplicados, teorias e tecnologias existentes que possibilitaram o detalhamento da construção do modelo de simulação tanto conceitualmente quanto dentro do *software* Flexsim®. Os resultados foram analisados com ênfase do ponto de vista quantitativo frente aos resultados de saída da simulação com processo atual e simulado, e também de forma qualitativa, prevendo melhorias à organização, à satisfação dos clientes e maior precisão na gestão e planejamento (PCM).

5.1 DISCUSSÕES SOBRE RESULTADOS

O objetivo principal do presente estudo foi analisar os potenciais ganhos do transporte de produtos pintados partindo do posto de pintura especial por meio da inserção do AGV no processo de transporte. Assim, os resultados foram satisfatórios em ambos os modelos propostos, porém com intensidades diferentes, se comparados com a situação atual.

O modelo que simula o transporte com AGV tipo *deck lift* teve resultados mais expressivos, e essa melhor performance no comparativo das variáveis se deve a condição do AGV realizar o transporte sempre que um produto é disposto no *buffer* de saída do posto de pintura especial. Aos resultados, este modelo apresenta uma redução do *lead time* de todos os tipos de pintura que variam de 33,78% a 92,16%, de modo que este ganho está centralizado na diminuição do tempo de espera, resultado da intensa disponibilidade do veículo para este transporte. A inserção do AGV ataca um dos sete desperdícios que é o tempo de espera, e este deve ser sempre o objetivo da gestão (Ohno, 1997). Neste sentido, houve redução do tempo de espera em 99,17%, saindo de aproximadamente 12 horas de espera para 6 minutos com a implantação do AGV, e em relação a utilização do espaço, houve uma redução de 84,76%. O reflexo desta rápida resposta no transporte promove a condição de melhor utilização do espaço disponível no posto, além de maior exploração do potencial deste posto de pintura. É esperado que o atraso por consequência do transporte realizado para o escoamento dos produtos finalizados no processo de pintura especial tenda a zero, contraponto indicador atual de 57% de atrasos referente ao processo de pintura especial.

A quantidade final de produtos produzidos não expressa melhorias significativas, uma vez que a semente de criação de *flow items* para todos os três modelos não foi alterada, assim como nenhum fator que impactasse as operações de pintura. Com isso, as melhorias obtidas são resultado das modificações propostas no escoamento de produtos.

Assim, é possível concluir que a inserção do AGV trará ganhos produtivos, com ataque agressivo na redução do tempo de espera, que reflete na redução do *lead time* que, por consequência, é capaz de promover maior satisfação do cliente frente ao embate na melhora do prazo final. Nenhuma mão de obra se fará necessária para a execução destes transportes, e a agilidade, precisão e segurança que o veículo AGV promove muni a gestão e controle das operações. No trabalho de (Almeida et al. 2019), estes benefícios com operação dos AGV's também são expostos, dentre outros.

5.2 TRABALHOS FUTUROS E OPORTUNIDADE DE MELHORIA

A capacidade de oferecer com excelência produtos com diferencial e personalização pode ter efeito de atrair novos clientes; este se faz o caso das pinturas especiais que oferecem identidade ao cliente e proteção a corrosividade. Uma evidência importante neste estudo são os *outliers* expostos na figura 34, que se referem a uma demanda em potencial do agronegócio requerente destes tipos de pintura, que têm projeção de crescimento exponencial nos próximos

anos. Esta demanda se caracteriza por motorreductores que movimentam sistemas de pivô central de irrigação em inúmeras plantações. No sistema típico de pivô central, a estrutura de aspersão de água é movimentada por um motor propulsor e gira ao redor de uma torre central, formando uma área circular de irrigação.

Os resultados das simulações deste estudo mostram um grande ganho em relação à utilização do espaço, à redução de *lead time* e à aderência a aspectos da I4.0. Aspectos como agilidade e rastreabilidade são essenciais à gestão, que tem a capacidade de elevar o nível da administração dos processos.

Quanto à disponibilidade do veículo, é notável que existe a capacidade de exploração em ambos os modelos propostos para um possível aumento de demanda ou outras aplicações dentro da montadora.

Em um caso real de projeto de melhoria em processos, a viabilidade financeira é um passo subsequente ao processo de modelagem e simulação, e, em sequência, uma comparação real de resultados para a comprovação dos resultados esperados. Estas são oportunidades futuras de estudo.

Uma das grandes vantagens da simulação é modelar possíveis cenários futuros. Neste estudo foi proposto dois cenários, contudo há possibilidade de construir outros modelos com características diferentes e extrair novas conclusões.

5.3 CONTRIBUIÇÃO

Do ponto de vista empresarial, este estudo apresenta contribuições para a arquitetura de sistema AGV's com a exposição de tecnologias, recursos oferecidos pelos AGV's e toda a dinâmica necessária para a construção dos modelos de simulação, essenciais para a fidelidade dos resultados simulados. Os resultados positivos deste estudo podem encorajar empresas a não só implantar AGV's, mas também estimular a utilização da simulação como ferramenta com potencial de previsão de resultados frente a grandes mudanças ou investimentos.

Academicamente, este estudo, além de se mostrar um passo a passo na utilização do método de simulação, faz uma revisão de literatura, embasando recursos possíveis com a utilização do AGV e particularidades na modelagem com detalhes de parametrização dos recursos oferecidos pelo *software* Flexsim®. Este estudo também apresenta um redesenho do fluxograma de implantação de AGV, disposto na figura 7, que foi baseado no estudo de Freitas (2018).

6 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, E. R. DE et al. Aplicação de veículo guiado automaticamente nas diversas áreas de produção da indústria: revisão sistemática da literatura. In: IX Congresso brasileiro de engenharia de produção. **Anais...**Ponta Grossa: Conbrepro, 2019. p.1-12.

ALVES, H. S. P. **Navegação e Controle de um Veículo Móvel**. 2010. 91f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2010.

ASSIS, R. DE; JUNIOR, M. L. Aplicação de AGV (automated guided vehicle) na movimentação de materiais com apoio de simulação: uma revisão sistemática da literatura. In: XLII Encontro nacional de engenharia de produção. **Anais...**Foz do Iguaçu: 2022. p.0-11.

ASSIS, R. DE; SAGAWA, J. K. Avaliação da implantação do Sistema de Gestão de Armazém em uma empresa multinacional do ramo de acionamentos. **Gestão & Produção**, v. 25, n. 2, p. 370–383, 2018.

BACHEGA, S. J. **Simulação de sistemas de coordenação de ordens em ambiente de produção flow shop**. 2013. 200f. Tese (Doutorado em Engenharia de produção) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2013.

BANKS, J. **Handbook of simulations: Principles, methodology, advances applications and practice**. New York: Wiley & Sons, 1998.

BARTKOWIAK, T. et al. *Novel approach to semi-automated warehouse for manufacturing: Design and simulation*. In: *IOP Conference series: Materials science and engineering*. **Anais...**Iasi: Institute of physics publishing, 2019. p.0-10.

BECHTSIS, D. et al. *Industry 4.0: Sustainable material handling processes in industrial environments*. In: *Computer aided chemical engineering*. **Anais...** Barcelona: 2017. p. 2281–2286.

BENZIDIA, S. et al. *Investigating automation and AGV in healthcare logistics: a case study based approach*. **International journal of logistics research and applications**, v. 22, n. 3, p. 273–293, 2019.

BERMAN, S.; SCHECHTMAN, E.; EDAN, Y. *Evaluation of automatic guided vehicle systems*. **Robotics and computer-integrated manufacturing**, v. 25, n. 3, p. 522–528, 2009.

BERTRAND, J. W. M.; FRANSOO, J. C. *Operations management research methodologies using quantitative modeling*. **International journal of operations and production management**, v. 22, n. 2, p. 241–264, 2002.

BOZER, Y. A.; SRINIVASAN, M. M. *Tandem configurations for automated guided vehicle systems and the Analysis of single vehicle loops*. **IIE Transactions**, v. 23, n. 1, p. 72–82, 1991.

BUER, S. V.; STRANDHAGEN, J. O.; CHAN, F. T. S. *The link between industry 4.0 and lean manufacturing: Mapping current research and establishing a research agenda. International Journal of Production Research*, v. 56, n. 8, p. 2924–2940, 2018.

CHEN, C.; TIONG, L. K. *Using queuing theory and simulated annealing to design the facility layout in an AGV-based modular manufacturing system. International journal of production research*, v. 57, n. 17, p. 5538–5555, 2019.

CHWIF, L. **Redução de modelos de simulação de eventos discretos na sua concepção: uma abordagem causal.** 1999. 151f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Escola Politécnica, USP, São Paulo, 1999.

CHWIF, L.; MEDINA, A. C. **Modelagem e simulação de eventos discretos: teoria & aplicações.** São Paulo: Ed. dos autores, 2006.

COSTA NETO, P. L. DE O. **Estatística.** São Paulo: Editora Blücher, 2002.

CRESPO, A. A. **Estatística fácil.** São Paulo: Saraiva, 2009.

CRESWELL, J. W. *Research design: qualitative & quantitative approaches.* London: Sage, 1994.

CUI, W.; WANG, H.; JAN, B. *Simulation design of AGVS operating process in manufacturing workshop.* In: 34rd Youth academic annual conference of chinese association of automation. **Anais...**Jinzhou: YAC, 2019. p.6-10.

DA SILVA, M. V. L. et al. Utilização da modelagem e simulação como ferramenta para análise de proposições de otimizações em processos industriais: o caso de uma indústria de computadores. In: XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. **Anais...**Belo Horizonte: Enegep, 2011. p.1-14.

DE RYCK, M.; VERSTEYHE, M.; DEBROUWERE, F. *Automated guided vehicle systems, state-of-the-art control algorithms and techniques. Journal of manufacturing systems*, v. 54, p. 152–173, 2020.

DOS REIS, W. P. N.; MORANDIN JUNIOR, O. *Sensors applied to automated guided vehicle position control: a systematic literature review. International journal of advanced manufacturing technology*, v. 113, n. 1–2, p. 21–34, 2021.

FAZLOLLAHTABAR, H.; SAIDI-MEHRABAD, M. *Methodologies to optimize automated guided vehicle scheduling and routing problems: A review study. Journal of intelligent and robotic systems: theory and applications*, v. 77, n. 3–4, p. 525–545, 2013.

FELKO, I. *Simulation-based deadlock avoidance and optimization in bidirectional AGVS.* In: 4th International ICST conference on simulation tools and techniques. **Anais...** Barcelona: SIMUTools 2011, 2011. p.152-161.

FOIT, K.; GOŁDA, G.; KAMPA, A. *Integration and evaluation of intra-logistics processes in flexible production systems based on oe metrics, with the use of computer modelling and simulation of agvs. Processes*, v. 8, n. 12, p. 1–15, 2020.

FORRESTER, J. W. *Principles of systems*. Cambridge: Wright-Allen press inc., 1968.

FRAGAPANE, G. et al. *Autonomous mobile robots in hospital logistics*. In: *Proceeding of the advances in production management systems*. **Anais...**New York: 2020. IFIPAICT. p.672-679.

FRAGAPANE, G. et al. *Planning and control of autonomous mobile robots for intralogistics: Literature review and research agenda*. **European journal of operational research**, v. 294, n. 2, p. 405–426, 2021.

FRAGAPANE, G. I. et al. *An agent-based simulation approach to model hospital logistics*. **International journal of simulation modelling**, v. 18, n. 4, p. 654–665, 2019.

FRANCO, D. et al. *Aplicação das tecnologias da Indústria 4.0 na Engenharia de produção: uma revisão sistemática da literatura*. In: *XL Encontro nacional de engenharia de produção*. **Anais...**Foz do Iguaçu: Enegep 2020. p.0-22.

FREITAS, F. N. **Implementação de AGV's – Um estudo de caso industrial**. 2018. 101f. Dissertação (Engenharia Mecânica) - Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2018.

FU, J. et al. *Determination of vehicle requirements of AGV system based on discrete event simulation and response surface methodology*. In: *Proceedings of the Institution of mechanical engineers, Part B: Journal of engineering manufacture*. **Anais...**Newcastle: CSE University Library, 2021. p. 1425-1436.

GARCÍA-MUIÑA, F. et al. *Industry 4.0-based dynamic social organizational life cycle assessment to target the social circular economy in manufacturing*. **Journal of cleaner production**, v. 327, p. 1–10, 2021.

GILCHRIST, A. **Industry 4.0**. In: **Introducing industry 4.0: the industrial internet of things**. California: Apress Berkeley, 2016.

GOLA, A.; KŁOSOWSKI, G. *Development of computer-controlled material handling model by means of fuzzy logic and genetic algorithms*. **Neurocomputing**, v. 338, p. 381–392, 2019.

GOMIDE, F. A. C.; GUDWIN, R. R.; TANSCHKEIT, R. *Conceitos fundamentais da teoria de conjuntos fuzzy, lógica fuzzy e aplicações*. In: *Proc. 6 th IFSA Congress-Tutorials*. **Anais...**São Paulo: 1995. p.1-38.

HO, Y.; HSIEH, P. *A machine-to-loop assignment and layout design methodology for tandem AGV systems with multiple-load vehicles*. **International journal of production research**, v. 42, n. 4, p. 801–832, 2004.

HSUEH, C. F. *A simulation study of a bi-directional load-exchangeable automated guided vehicle system*. **Computers and industrial engineering**, v. 58, n. 4, p. 594–601, 2010.

IANNONI, A. P.; MORABITO, R. *Análise do sistema logístico de recepção de cana-de-açúcar: um estudo de caso utilizando simulação discreta*. **Gestão & Produção**, v. 9, n. 2, p. 107–127, 2002.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, ISO-12944-2.: Tintas e vernizes. Proteção anticorrosiva de estruturas de aço por esquemas de pintura. Parte 2: Classificação de ambientes. Genebra: ISO, 2017.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, ISO-9223. Corrosion of metal and alloys, classification of corrosivity of atmospheres. Genebra: ISSO, 1992.

JAVED, M. A. et al. *Towards dynamic safety assurance for industry 4.0. Journal of systems architecture*, v. 114, p. 1–13, 2021.

JORDÃO, R. V. D. et al. *Critical factors in project management: A case study in a big latin american world class company. Gestão & Produção*, v. 22, n. 2, p. 280–294, 2015.

KABIR, Q. S.; SUZUKI, Y. *Increasing manufacturing flexibility through battery management of automated guided vehicles. Computers & Industrial engineering*, v. 117, p. 225–236, 2018.

KABIR, Q. S.; SUZUKI, Y. *Comparative analysis of different routing heuristics for the battery management of automated guided vehicles. International journal of production research*, v. 57, n. 2, p. 624–641, 2019.

KAMBLE, S.; GUNASEKARAN, A.; DHONE, N. C. *Industry 4.0 and lean manufacturing practices for sustainable organizational performance in Indian manufacturing companies. International journal of production research*, v. 58, n. 5, p. 1319–1337, 2020.

KESEN, S. E.; BAYKOÇ, Ö. F. *Simulation of automated guided vehicle (AGV) systems based on just-in-time (JIT) philosophy in a job-shop environment. Simulation modeling practice and theory*, v. 15, n. 3, p. 272–284, 2007.

KUMAR, R. et al. *Automated guided vehicle configurations in flexible manufacturing systems: A comparative study. International journal of industrial and systems engineering*, v. 21, n. 2, p. 207–226, 2015.

KUMBHAR, S. G.; THOMBARE, R. B.; SALUNKHE, A. B. *Automated guided vehicles for small manufacturing enterprises: A review. SAE International journal of materials and manufacturing*, v. 11, n. 3, p. 253–258, 2018.

LE-ANH, T.; DE KOSTER, M. B. M. *A review of design and control of automated guided vehicle systems. European journal of operational research*, v. 171, n. 1, p. 1–23, 2006.

LEE, Y.; PARK, K.; KIM, D. *An AGVS Management model utilizing 3D animation techniques. International journal of innovative technology and exploring engineering*, v. 8, n. 8, p. 876–881, 2019.

LEI, X. et al. *Dual-spring AGV shock absorption system design: Dynamic analysis and simulations. In: IEEE International conference on robotics and biomimetics. Anais...Macau: ROBIO, 2017. p.1-7.*

LEITE, L. F. V. et al. *Simulation of a production line with automated guided vehicle: A case study. Independent journal of management & production*, v. 6, n. 2, p. 269–285, 2015.

- LI, M. P.; KUHL, M. E. *Design and simulation analysis of PDER: a multiple-load automated guided vehicle dispatching algorithm*. In: *Proceedings of the 2017 winter simulation conference*. **Anais...**Las Vegas: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2017. p. 3311-3322.
- LU, S. et al. *A RFID-enabled positioning system in automated guided vehicles for smart factories*. **Journal of manufacturing systems**, v. 44, p. 179–190, 2017.
- LU, S. et al. *A passive RFID tag-based locating and navigating approach for automated guided vehicles*. **Computers and industrial engineering**, v. 125, p. 628–636, 2018.
- MAMEDE, B. M. **Modelagem em simulação computacional de um sistema produtivo MTS aplicando o método CONWIP**. 2017. 123f. Dissertação (Mestrado em engenharia de produção e sistemas) - Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2017.
- MARCONI, M. DE A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. São Paulo: Atlas, 2003.
- MARTÍNEZ-GUTIÉRREZ, A. et al. *Digital twin for automatic transportation in industry 4.0*. **Sensors**, v. 21, n. 10, p. 1–23, 2021.
- MAZZAFERRO, J. A. E. Indústria 4.0 e a qualidade da informação. **Soldagem e inspeção**, v. 23, n. 1, p. 1–2, 2018.
- MECALUX DO BRASIL SISTEMAS DE ARMAZENAGEM LTDA. **Paletes**. 2022. Disponível em: <<https://www.mecalux.com.br/manual-de-armazenagem/paletes>>. Acesso em: 14 set. 2022.
- MELLO, H. D. A.; TONELLI, M. J. O Tempo e as organizações: Concepções do tempo em periódicos de estudos organizacionais. In: Observatório da realidade organizacional. **Anais...**Recife: PROPAD/UFPE: ANPAD, 2002. p.1-14.
- MIGUEL, P. A. C. (Org.). **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.
- MOHAMMADI, E. K.; SHIRAZI, B. *Toward high degree flexible routing in collision-free FMSs through automated guided vehicles' dynamic strategy: A simulation metamodel*. **ISA Transactions**, v. 96, p. 228–244, 2019.
- MOORTHY, R.L. *Cycle deadlock prediction and avoidance for zone controlled AGV system*. **International Journal of Production Economics**, v.83, n. 3, p. 309–324, 2003.
- MOREIRA, A. P. F. **Estudo e simulação de sistemas de logística interna baseados em AGVs**. 2017. 133f. Dissertação (Mestrado em engenharia electrotécnica e de computadores) FEUP - Faculdade de engenharia da universidade do Porto, Porto, 2017.
- MOTTA, G. DA S. O que é um artigo tecnológico? **Revista de administração contemporânea**, v. 26, p. 1–6, 2022.
- MÜLLER, J. M. *Antecedents to digital platform usage in Industry 4.0 by established manufacturers*. **Sustainability**, v. 11, n. 4, 2019.

NERADILOVA, H.; FEDORKO, G. *Simulation of the supply of workplaces by the AGV in the digital factory*. In: *International scientific conference on sustainable, modern and safe transport*. **Anais...** High Tatras: Procedia engineering, 2017. p. 638–643.

NUNES, V. A.; BARBOSA, G. F. *Simulation-based analysis of AGV workload used on aircraft manufacturing system: a theoretical approach*. **Acta Scientiarum-Technology**, v. 42, n. 1, p. 1–10, 2020.

OFORI, D. F. *Project management practices and critical success factors – A Developing Country Perspective*. **International journal of business and management**, v. 8, n. 21, p. 14–31, 2013.

OHNO, T. **O sistema Toyota de produção, além da produção em larga escala**. Porto Alegre: Bookman, 1997.

PALETRANS EQUIPAMENTOS LTDA. **Transpaletes manuais**. 2022. Disponível em: <<https://www.paletrans.com.br/produtos/transpaletes-manuais>>. Acesso em: 14 set. 2022.

PEÇAS, P. et al. *PDCA 4.0: A new conceptual approach for continuous improvement in the industry 4.0 paradigm*. **Applied sciences**, v. 11, n. 16, p. 3–29, 2021.

PEDAN, M.; GREGOR, M.; PLINTA, D. *Implementation of automated guided vehicle system in healthcare facility*. In: *Procedia engineering*. **Anais...**High Tatras: TRANSCOM 2017, 2017. p.665-670.

PEREIRA, W. I.; CHWIF, L. *Especificação do modelo conceitual em simulação de eventos discretos: Aplicação em um caso real*. In: XXX Encontro nacional de engenharia de produção. **Anais...**São Carlos: Enegep, 2010. p.1-12.

PRADO, D. **Teoria das filas e da simulação**. 4. ed. Nova Lima: INDG Tecnologia de serviços Ltda, 2009.

PRESSMAN, R. S. **Engenharia de software: Uma abordagem profissional**. Alegre: McGraw-Hill Artmed, 2011.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE - PMI. **Um guia do conhecimento em gerenciamento de projetos**. Pensilvânia: Project Management Institute, 2017.

QIU, L. et al. *Scheduling and routing algorithms for AGVs: A survey*. **International journal of production research**, v. 40, n. 3, p. 745–760, 2002.

ROSELINO, J. E. **A indústria de software: o “ modelo brasileiro ” em perspectiva comparada**. 2006. 228f. Tese (Doutorado em ciências econômicas) – Unicamp - Universidade Estadual de Campinas, Campinas 2006.

SALVADORINHO, J.; TEIXEIRA, L. *Stories told by publications about the relationship between industry 4.0 and lean: Systematic literature review and future research agenda*. **Publications**, v. 9, n. 3, p. 1–20, 2021.

SEHA, S.; ZAMBERI, J.; FAIRU, A. J. *Design and simulation of integration system between automated material handling system and manufacturing layout in the automotive assembly line*. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. **Anais...**Kuantan: Institute of Physics Publishing, 2017. p.1-10.

SENARAS, A. E. *Parameter optimization using the surface response technique in automated guided vehicles*. In: *Sustainable Engineering Products and Manufacturing Technologies*. Elsevier, 2019. Cap.8. p.187–197.

SEW EURODRIVE. *Automated guided vehicles*. 2022. Disponível em <https://www.sew-eurodrive.pl/automation/factory-automation/mobile-assistance-systems/Transportation-vehicles.html>. Acesso em: 09 set. 2022.

SILVA, C. V. DA P. et al. A influência do layout na gestão organizacional. In: XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção. **Anais...**Fortaleza: Enegep 2015. p.1-23.

SILVA, M. T. A. **Simulação e estudo da viabilidade económica de um sistema AGV para movimentação de resíduos numa empresa fornecedora da indústria automóvel**. 2015. 107f. Dissertação (Engenharia e Gestão Industrial) – Universidade do Minho, Braga, 2015.

SILVA, N. et al. *Advancing logistics 4.0 with the implementation of a big data warehouse: A demonstration case for the automotive industry*. *Electronics*, v. 10, n. 18, p. 1–18, 2021.

SINOVA SISTEMAS DE MOVIMENTAÇÃO E MANUFATURA LTDA. **Sistemas AGV**. 2022. Disponível em: <<https://www.sinova.com.br/sistema-agv/>>. Acesso em: 10 set. 2022.

SINRIECH, D.; TANCHOCO, J. M. A. *Design procedures and implementation of the segmented flow topology (SFT) for discrete material flow systems*. *IIE Transactions (Institute of industrial engineers)*, v. 29, n. 4, p. 323–335, 1997.

SLAVIERO, G. J.; CHIWIACOWSKY, L. D. Uso da simulação computacional para avaliação de melhorias em uma indústria moveleira. **Revista Foco**, v. 15, n. 5, p. 1–22, 2022.

STADNICKA, D. et al. *Symbiotic cyber-physical Kanban 4.0: An approach for SMEs*. In: *IEEE symposium on emerging technologies and factory automation (ETFA)*. **Anais...**Vienna: Institute of electrical and electronics engineers, 2020. p.140-147.

TORTORELLA, G. et al. *Towards the proposition of a lean automation framework: integrating industry 4.0 into lean production*. *Journal of manufacturing technology management*, v. 32, n. 3, p. 593–620, 2021.

TORTORELLA, G. L.; FETTERMANN, D. *Implementation of industry 4.0 and lean production in Brazilian manufacturing companies*. *International journal of production research*, v. 56, n. 8, p. 2975–2987, 2018.

TOYOTA MATERIAL HANDLING MERCOSUL INDUSTRIA E COMERCIO DE EQUIPAMENTOS LTDA. **Transpaleteiras elétricas**. 2022. Disponível em <<https://toyotaempilhadeiras.com.br/categoria/transpaleteiras-eletricas/>> Acesso em: 15 set. 2022.

UM, I.; CHEON, H.; LEE, H. *The simulation design and analysis of a flexible manufacturing system with automated guided vehicle system. Journal of manufacturing systems*, v. 28, n. 4, p. 115–122, 2009.

VALAMEDE, L. S.; AKKARI, A. C. S. *Lean 4.0: A new holistic approach for the integration of lean manufacturing tools and digital technologies. International journal of mathematical, engineering and management sciences*, v. 5, n. 5, p. 854–868, 2020.

VICENT, S. *Input data analysis*. In: **Handbook of simulation: principles, methodology, advances, applications and practice**. New York: John Wiley & Sons, 1998. p. 55–31.

VIS, I. F. A. *Survey of research in the design and control of automated guided vehicle systems. European journal of operational research*, v. 170, n. 3, p. 677–709, 2006.

WINKELHAUS, S.; GROSSE, E. H. *Logistics 4.0: a systematic review towards a new logistics system. International journal of production research*, v. 58, n. 1, p. 18–43, 2020.

WITCZAK, M. et al. *A fault-tolerant control strategy for multiple automated guided vehicles. Journal of manufacturing systems*, v. 55, p. 56–68, 2020.

XAVIER, P. H. B. et al. *Aplicação do algoritmo do caminho mínimo em uma empresa processadora de miúdos no sudeste goiano*. In: *Simpósio de engenharia de produção. Anais...Catalão: SIENPRO*, 2018. p.1-10.

XIAO, H. et al. *A Collision and Deadlock Prevention Method with Traffic Sequence Optimization Strategy for UGN-Based AGVS. IEEE Access*, v. 8, p. 209452–209470, 2020.

YAO, F. et al. *Improving Just-in-Time Delivery Performance of IoT-Enabled Flexible Manufacturing Systems with AGV Based Material Transportation. Sensors*, v. 20, p. 1-25, 2020.

APÊNDICE A – DADOS ESTATÍSTICOS

Tabela A.1 – Dados coletados para determinar frequência de criação de *flow items*

Intervalo entre criação de <i>flow items</i> (em segundos)									
986	2400	673	1286	673	1412	1161	783	1756	2667
2182	1674	878	889	590	900	550	1125	1440	450
1756	1090	477	567	1333	1895	713	1412	727	2323
1500	1309	1220	947	1600	960	486	1440	960	1500
1946	699	500	621	468	2118	1412	2118	1440	558
1946	986	400	758	1059	1309	518	2323	1091	857
783	673	2118	1000	1600	1200	522	1180	1358	1333
1358	679	867	1161	857	774	923	1469	679	1161
1440	1108	1333	1161	615	713	1636	1385	1600	911
2057	610	2000	1075	600	1333	800	1220	1895	1241
1756	1180	1385	1946						

Figura A.1 – Tratamento de dados na criação de *flow items*

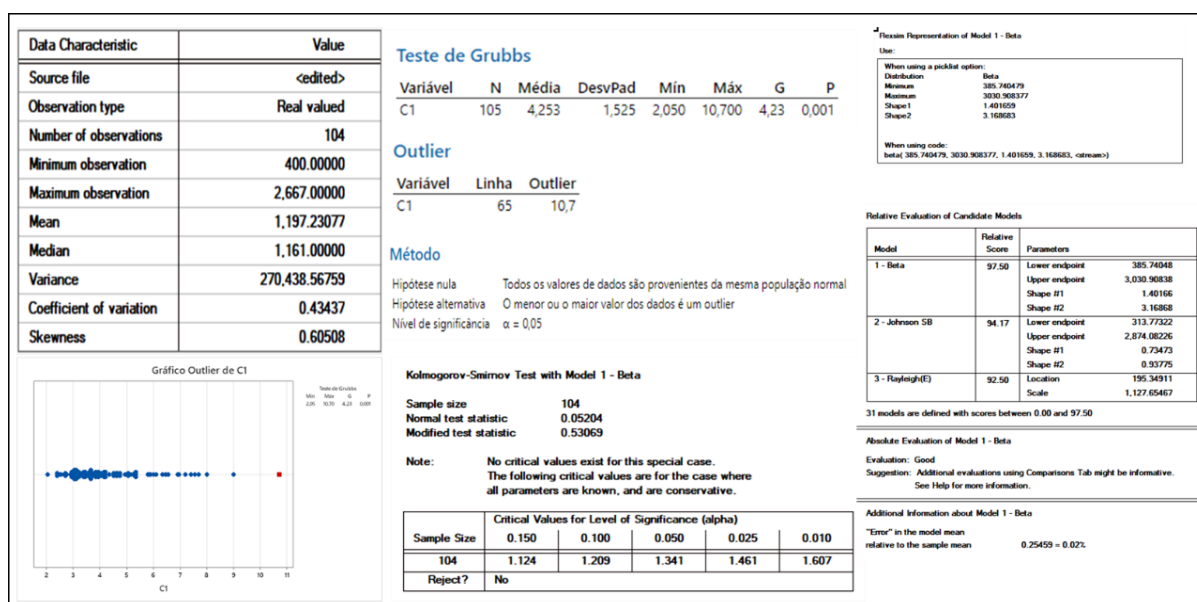


Tabela A.2 – Dados coletados para determinar tempo de pintura

Tempos de pintura (em segundos)									
612	524	515	466	601	533	685	461	495	534
585	539	518	495	601	479	469	575	575	471
598	475	512	521	533	478	515	563	521	452
661	514	514	512	534	512	496	534	385	479
512	512	521	520	536	511	527	721	467	481
721	346	470	535	529	526	575	505	524	487
578	519	475	536	476	529	510	495	527	483
560	555	452	555	495	539	505	479	511	543
505	574	572	552	512	531	503	481	558	915
512	552	752	572	513	512	531	490	541	

Figura A.2 – Tratamento de dados para tempos de pintura

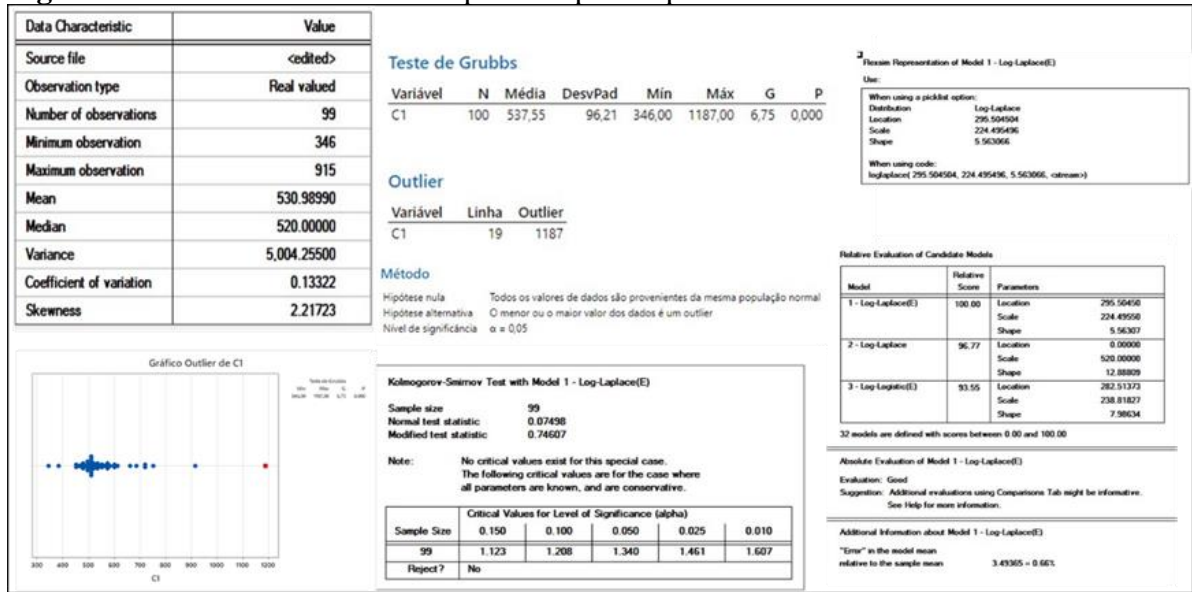


Tabela A.3 – Dados coletados para determinar tempo de setup

Tempos de setup (em segundos)									
349	368	329	379	346	319	328	328	426	381
328	408	386	339	329	346	357	364	363	430
328	350	397	318	409	328	396	339	378	378
361	319	377	495	372	369	394	349	372	388
376	319	381	361	376	455	332	377	319	353
318	437	399	373	386	363	349	342	354	319
341	369	368	354	389	329	363	351	356	323
347	323	394	332	391	334	416	392	346	361
325	321	377	328	390	339	318	405	366	483
363	339	398	328	403	397	409	361	366	

Figura A.3 – Tratamento de dados para tempos de setup

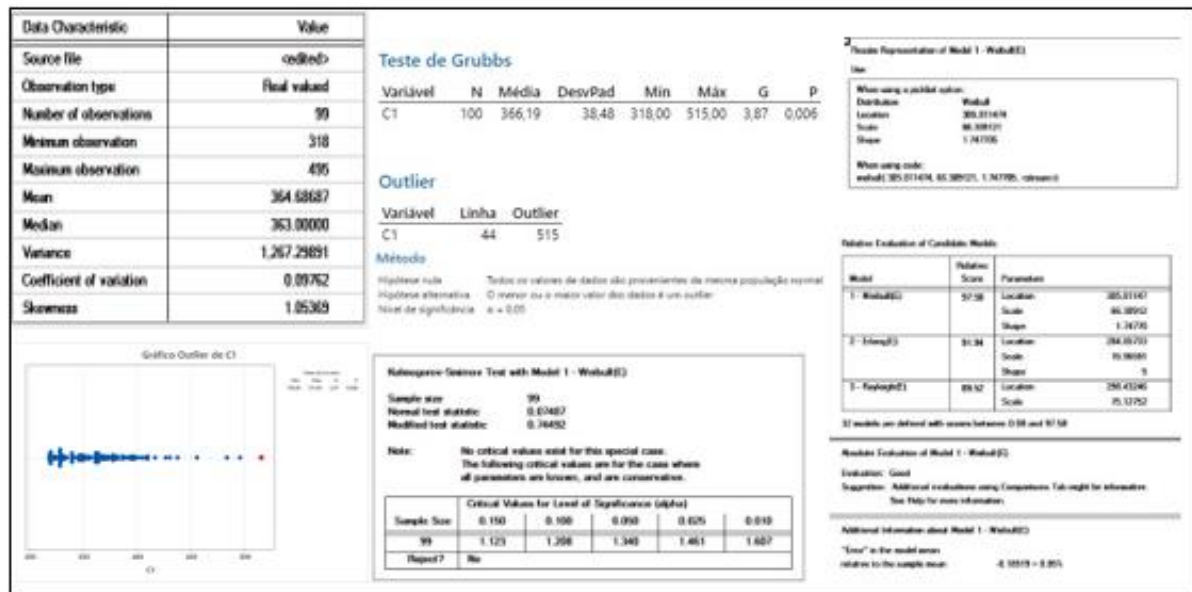
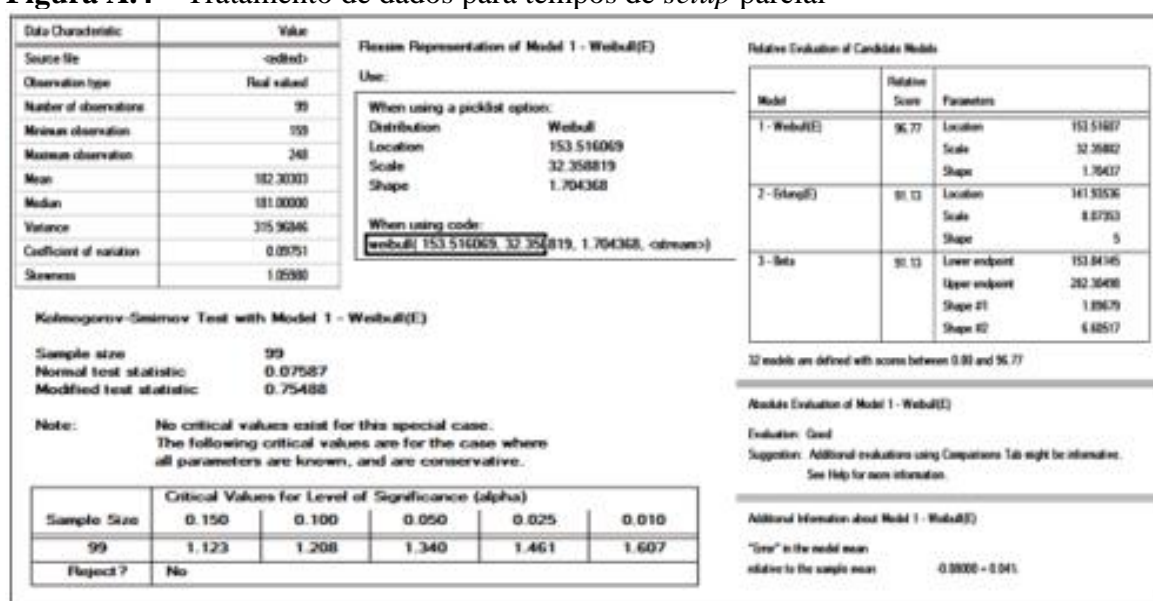


Tabela A.4 – Dados coletados para determinar tempo de *setup* parcial

Tempos de <i>setup</i> parcial (em segundos)									
175	184	165	190	173	159	164	164	213	215
164	204	193	170	164	173	178	182	181	189
164	175	199	159	204	164	198	169	189	194
181	160	189	248	186	184	197	174	186	176
188	160	191	181	188	227	166	188	159	159
159	219	200	187	193	181	174	171	177	161
171	185	184	177	194	164	181	175	178	180
174	162	197	166	194	167	208	196	173	241
163	161	189	164	195	169	159	202	183	190
182	170	199	164	201	198	204	180	183	

Figura A.4 – Tratamento de dados para tempos de *setup* parcial**Tabela A.5** – Dados coletados para determinar frequência de coleta de produtos com destino a expedição

Intervalo entre coletas para expedição (em segundos)									
41400	36300	56100	37500	53340	52500	55080	37080	41880	47640
41100	38940	50100	47880	58740	38340	35340	43080	29340	57360
66060	53940	38700	34980	54900	29220	37080	36060	32940	49920
49440	25080	43080	48900	49440	43380	44700	49080	55380	56880
54600	53280	52560	50160	54180	45780	60060	52140	59580	56100
51120	43920	33360	51900	51540	71580	38760	55380	71460	56160
45540	57960	48180	52140	34080	43080	38460	42720	54900	53760
56700	40500	58800	60360	59280	58260	39180	37860	30480	45540
35100	57360	59280	48900	45540	49800	47400	30600	57360	54120
47700	56280	44580	43080	48780	54180	45540	42120	53760	46920
48720	59520	26820	34260	43080	48420				

Figura A.5 – Tratamento de dados para frequência de coleta com destino a expedição

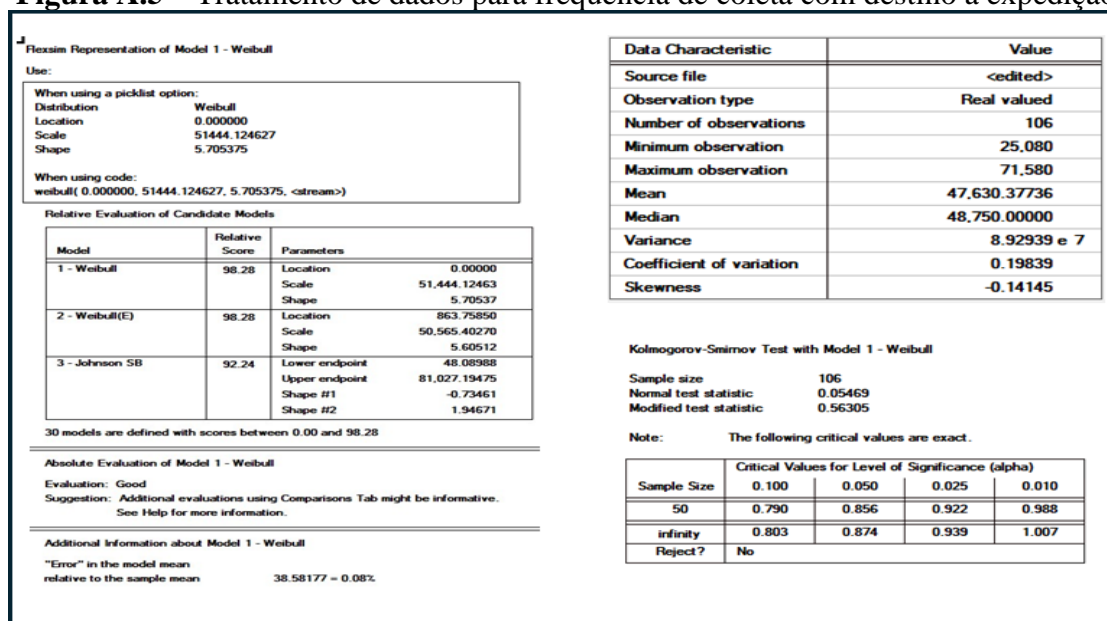
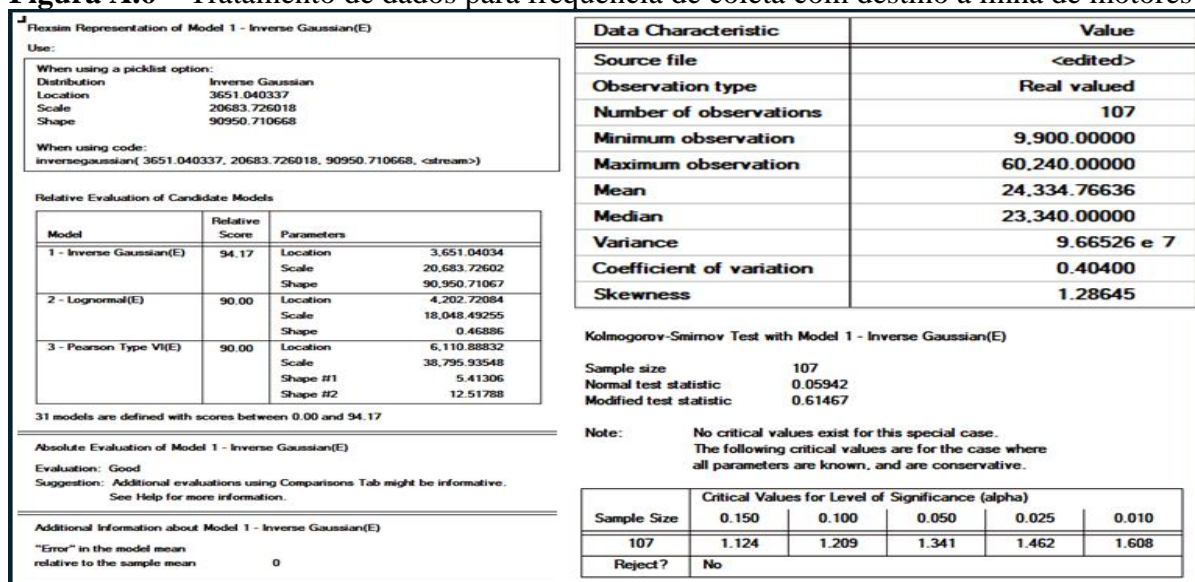


Tabela A.6 – Dados coletados para determinar frequência de coleta de produtos com destino a linha de motores

Intervalo entre coletas para linha de motores (em segundos)									
36900	17280	17640	10500	24720	19500	41820	11280	22500	21540
35580	18000	22380	15240	25560	36900	28680	19500	23880	18060
23100	18120	23820	9900	15060	32040	15900	24900	30960	12960
25080	11880	28800	31920	15900	23760	18960	23640	15240	13140
24060	14400	47700	42900	18900	24000	60240	24060	15900	45780
17340	13800	27000	37080	17220	17400	40500	13920	17220	25500
18120	27000	38100	35340	16140	60180	36060	25380	25740	18060
19860	23340	24960	27420	24900	28860	13920	19860	24000	18240
19200	19920	25920	23880	40680	22740	14580	25500	19680	22140
33000	27120	15780	21360	27000	23040	17760	41880	23940	24060
36720	14160	11880	17940	37920	31560	11520			

Figura A.6 – Tratamento de dados para frequência de coleta com destino a linha de motores



APÊNDICE B – PRODUTO TECNOLÓGICO

Software AGVDesign – Arquitetura de sistemas AGV's

Resumo

O tempo é um dos recursos mais escassos nos processos produtivos; frequência do uso de palavras como velocidade, ritmo, e mudança no vocabulário cotidiano corroboram a escassez do tempo (Mello; Tonelli, 2002). Todo subsídio de auxílio na tomada de decisão é necessário para que a velocidade das transformações tenha a capacidade de ser tempestiva, promovendo progresso e resultados positivos. Este produto tecnológico é uma ferramenta que pode auxiliar na configuração de sistemas AGV's por meio de um *software* que indicará as melhores funcionalidades sob a óptica do usuário. O objetivo desta ferramenta é reduzir o tempo na arquitetura de um sistema AGV.

Palavras-chave: AGV, *software*, otimização de tempo.

Introdução

O AGV é um dos equipamentos da indústria 4.0 nos sistemas de produção, relacionados à movimentação de materiais de forma autônoma. Sua utilização tem potencial de reduzir os tempos de transporte, melhorando o fluxo de materiais dentro do ambiente (Xavier et al., 2018), permitindo que recursos, como mão de obra, alocados ao transporte tradicional, possam ser utilizados para gerar valor em outras atividades.

As inúmeras aplicações de transporte nos segmentos da indústria, comércio e saúde se diferem em tamanho e complexidade entre setores e entre ambientes do mesmo segmento. Esta particularidade faz com que a inserção do AGV seja exclusiva para cada caso, de modo que essa característica exige estudos sobre cada processo e sobre cada expectativa para que o *design* de um sistema AGV seja desenvolvido maximizando todos os seus potenciais.

Partindo deste cenário, este produto tecnológico tem como objetivo desenvolver uma ferramenta de apoio para facilitar escolhas que configuram sistemas AGV's, economizando tempo na concepção do projeto. Esta ferramenta se define por um *software* que representa, em etapas, o fluxograma de aplicação de um sistema AGV desenhado na figura 7 desta dissertação. Tal ferramenta é baseada na literatura existente e apresenta justificativas de diversos autores sobre cada etapa na dinâmica do *software*.

Contexto e realidade investigada

A tecnologia de informação (TI) vem sendo utilizada em muitas aplicações profissionais e pessoais, sobre diversos objetivos, como economizar tempo, customizar análises e identificar anormalidades. *Softwares* fazem parte deste contexto e estão presentes no cotidiano das pessoas. Cada vez mais a tecnologia e a velocidade com que temos acesso à informação potencializa o tempo empregado nas inúmeras atividades nas quais se pode estar envolvido. A indústria 4.0 é a quarta revolução industrial embalada pelo emprego de tecnologias que permitem cada vez mais velocidade, confiabilidade e produtividade. De Ryck, Versteyhe e Debrouwere (2020) afirmam que o AGV já faz parte da realidade industrial por conta da robustez, flexibilidade e escalabilidade no transporte. A crescente realidade para soluções em movimentação principalmente na indústria apresenta o AGV como um potencial recurso capaz de atender as necessidades de transporte. Contudo, como apresentado por Vis (2006), uma variedade de condições e detalhes mostram o quão customizada a aplicabilidade do AGV pode ser. A expertise no *design* de um sistema AGV é relevante (Bechtsis et al., 2017, Kesen; Baykoç, 2007, Le-Anh; De Koster, 2006, Seha; Zamberi; Fairu, 2017, Vis, 2006), assim como a utilização do recurso de simulação (Senaras, 2019).

Diagnóstico da situação problema e oportunidade

O investimento em um sistema AGV sucede a um projeto de *design*. Jordão et. al (2015) concluem que durante a condução de projetos, o acompanhamento dos fatores críticos de sucesso (FCS), de forma oportuna, pode ser capaz de impedir o surgimento de problemas ou minimizar seus efeitos. Ofori (2013) define que os FCS de um projeto estão relacionados ao sucesso de áreas definidas, como custo, escopo, prazo e qualidade. Portanto, o mal provisionamento na construção de um *design* AGV pode afetar estas características que desencadeiam fracasso, perda de tempo e custos envolvidos para a correção. Project Management Institute (2017) enfatiza que o custo de prevenção dos erros geralmente é muito menor que os erros de correção. Mediante a esta complexidade, é importante que os recursos possibilitem direcionar escolhas que sejam favoráveis a definir a melhor configuração para um sistema AGV. Ao se pensar nos FCS do projeto de concepção de um sistema AGV, este presente produto tecnológico prevê a construção de um *software* capaz de auxiliar na configuração de características funcionais para um sistema AGV, sendo um complemento junto a simulação. Este *software* será nomeado como AGVDesign.

Análise da situação problema e proposta de inovação

A situação alvo na qual este produto tecnológico se faz útil está na concepção de sistemas AGV's em ambientes projetados. Em resumo, a aplicação desta ferramenta está no projeto de implantação e na curiosidade do usuário que pleiteia a utilização do AGV, e objetiva auxiliar na configuração de sistemas AGV's sob a perspectiva do ambiente analisado.

A literatura existente sobre as funcionalidades dos AGV's foi compilada para gerar um fluxograma de implantação. Este fluxograma será redesenhado na forma de um *software* que direciona um roteiro de perguntas capazes de indicar as melhores funcionalidades de AGV's.

Os aspectos que a ferramenta considera estão abaixo:

- tipo do piso;
- exigência de pacotes de segurança para tráfego;
- adaptações de *layout*;
- sentido de tráfego dos caminhos guia;
- tipo de carregamento de bateria;
- tipo do sistema de comunicação;
- tipo do sistema de orientação/navegação;
- tipo do veículo.

Um sistema AGV configurado de acordo com as reais necessidades pode resultar em uma boa relação custo-benefício, e a falta de entendimento sobre as necessidades pode ser corrompida pelas inúmeras tecnologias disponíveis. Esta ferramenta vem para auxiliar as decisões sobre esta configuração, com a finalidade de prover segurança nas escolhas de configuração e conhecimento aos usuários. Esta aplicabilidade prática, apoiada nas bases literárias, define esta ferramenta como um produto tecnológico (Motta, 2022).

Para Roselino (2006), um *software* é um insumo tecnológico, uma mercadoria intangível caracterizada pela sua natureza não material. De uma maneira ampla, um *software* é composto por instruções capazes de gerar funcionalidades, uma estrutura de dados que permite a manipulação de informações e documentação que descreve a operação e o uso (Pressman, 2011). Como o objetivo central deste produto é desenvolver um *software* capaz de auxiliar na configuração de um sistema AGV, serão seguidas as etapas da produção de um *software* citado por Pressman (2011): fase de definição, fase de desenvolvimento e fase de manutenção.

Para a fase de definição, que envolve requisitos necessários ao objetivo central deste produto, estes requisitos sustentam a funcionalidade do *software* e estão apontados no quadro abaixo:

Quadro: Definição do projeto: definição de requisitos

Requisitos	Justificativa e observações
Fontes	As fontes que modelam este <i>software</i> foram extraídas em sua totalidade de produções acadêmicas sobre o assunto.
Foco	Este <i>software</i> é uma ferramenta de apoio ao <i>design</i> de sistemas AGV.
Dinâmica	A tradução do fluxograma em <i>software</i> se deu na utilização de um questionário fechado, desenvolvido em etapas, que no fim compila um relatório com todas as escolhas do usuário.
Fidelidade	A construção deste <i>software</i> é fiel ao fluxograma de apoio apresentado na figura 7 desta dissertação.
Público-alvo	O consumidor alvo deste <i>software</i> serão <i>designers</i> de sistemas AGV's e principalmente consumidores finais do sistema AGV que não detém expertise de <i>design</i> destes sistemas.
Transparência	Como o consumidor final é um dos usuários, citações acadêmicas serão expostas, justificando a escolha de cada etapa.
Interfaces	O <i>software</i> foi desenvolvido para funcionar em computadores e notebooks.
Linguagem de programação	Este <i>software</i> será aplicado a VBA com base em Microsoft Access; a escalabilidade futura pode mudar este cenário.
Facilidade de uso	O <i>software</i> deve ser intuitivo, simples de se utilizar.
Validação	A validação deste <i>software</i> se dará pela observação das funcionalidades e sua fidelidade ao fluxograma apresentado na figura 7.

Fonte: Autoria própria

A segunda fase de desenvolvimento foca na tradução das informações do fluxograma base para linguagem VBA, através da interface do *software* Microsoft Access, utilizando de máscaras confortáveis ao usuário, exibindo, em alguns casos, imagens capazes de simplificar o entendimento. A avaliação nesta etapa se forma com teste de funcionamento que enfoca no paralelismo com o fluxograma base, performance técnica do *software* e avaliação empírica da aparência. As etapas de desenvolvimento do *software* foram desenhadas conforme o quadro abaixo com auxílio da ferramenta 5W1H, que possibilita uma visão mais generalista sobre o entendimento do projeto de construção do *software*.

Quadro: 5W1H da etapa de desenvolvimento

O Que?	Por quê?	Onde?	Quando?	Quem?	Como?
Produzir <i>software</i>	Auxiliar na configuração de sistemas AGV	Rio Claro/SP	Out/Nov. de 2023	Rafael de Assis	Por meio de VBA
	Atender requisito do mestrado profissional	Rio Claro/SP	Out/Nov. de 2023	Rafael de Assis	Por meio de VBA
Testar <i>software</i>	Confrontar com fluxograma base	Rio Claro/SP	Nov. de 2023	Rafael de Assis	Análise paralela ao fluxograma
	Avaliar desempenho	Rio Claro/SP	Nov. de 2023	Rafael de Assis	Empiricamente
	Relatar resultados	Rio Claro/SP	Dez. de 2023	Rafael de Assis	Transcrever resultados das pesquisas
	Corrigir erros	Rio Claro/SP	Dez. de 2023	Rafael de Assis	Refazer etapas que apresentaram falhas

Fonte: Autoria própria

A última etapa descrita por Pressman (2011) se dá por modificações, melhorias e correções de erros que serão possíveis mediante ao uso do *software*, sendo que esta fase apenas se concentra nas correções de falhas encontradas durante os testes do *software*. Uma melhoria observada e implantada após o primeiro protótipo do *software* foi a inserção de um texto prévio antes de cada etapa na dinâmica do *software*. Uma preocupação de explanar brevemente o assunto abordado cede ao usuário uma base sobre a necessidade de cada etapa proposta pelo *software* e, assim, usuários sem a expertise necessária para projetar um sistema AGV serão capazes de entender a importância de cada etapa antes de tomar a melhor decisão sob sua ótica.

Conclusões e contribuição tecnológica social

Os resultados obtidos com o questionário apresentaram resultados satisfatórios sobre a performance do *software*. O comportamento apresentado pelo *software* se mostrou simples e rápido, tendo potencial de ser extremamente útil ao usuário.

O produto tecnológico, segundo Motta (2022), tem ênfase na contribuição prática à sociedade. O AGVDesign tem capacidade de contribuir com *designers*, pretendentes na implantação de sistemas AGV's, estudantes e proprietários de sistemas AGV's. Esta capacidade de contribuir se dá na informação expressa em todas as etapas percorridas pelo usuário no *software*, no direcionamento em compreender fatores importantes no *design* de sistemas AGV's e na economia de tempo em definir requisitos para implantação de sistemas AGV's promovendo o conceito de um projeto de implantação de AGV apoiado nas produções científicas publicadas sobre o assunto.

A tecnologia que apoia a concepção de um projeto tem capacidade de gerar riqueza, promovendo progresso por disseminar conhecimento. Este *software* tem potencial de cumprir esta função em ambientes que planejam a inserção de AGV's na movimentação de produtos.

Assim, conclui-se que o *software* AGVDesign cumpre o objetivo de simplificar e auxiliar a implantação de sistemas AGV's na fase de projetos com a concentração de conhecimento que possibilita economizar tempo na concepção de *design* de sistemas AGV's.