

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
UNIDADE DE PÓS-GRADUAÇÃO, EXTENSÃO E PESQUISA
MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO E TECNOLOGIA EM
SISTEMAS PRODUTIVOS

RODRIGO DOS SANTOS KELCH

PESQUISA OPERACIONAL EMPREGADA EM SIMULADOR DE EVENTOS
DISCRETOS VISUALIZADA PELA REALIDADE VIRTUAL

São Paulo

Abril/2021

RODRIGO DOS SANTOS KELCH

PESQUISA OPERACIONAL EMPREGADA EM SIMULADOR DE EVENTOS
DISCRETOS VISUALIZADA PELA REALIDADE VIRTUAL

Dissertação apresentada como exigência parcial para obtenção do título de Mestre em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos, do Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, no programa de Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos, sob a orientação do Prof. Dr. António César Galhardi

São Paulo

Abril/2021

K29p Kelch, Rodrigo dos Santos
Pesquisa operacional empregada em simulador de eventos discretos visualizada pela realidade virtual / Rodrigues dos Santos Kelch. – São Paulo, CPS, 2021.
94 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Antônio César Galhardi
Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos) – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, 2021.

1. Simulador computacional. 2. Realidade virtual. 3. Layout. 4. Otimização de processos. 5. Operações logísticas. I. Galhardi, Antônio César. II. Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza. III. Título.

RODRIGO DOS SANTOS KELCH

PESQUISA OPERACIONAL EMPREGADA EM SIMULADOR DE EVENTOS
DISCRETOS VISUALIZADA PELA REALIDADE VIRTUAL

Prof. Dr. António César Galhardi

Prof. Dr. João Roberto Maiellaro

Prof. Dr. Alexandre Formigoni

São Paulo, 13 de Abril de 2021.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela saúde, força, companhia e todas as oportunidades oferecidas para meu crescimento contínuo.

Aos meus pais, Werner Kelch e Marlene dos Santos Kelch, pela criação honrada e carinhosa.

Ao meu professor e orientador, Dr. António César Galhardi, pelo conhecimento e acompanhamento prestados, e que foram decisivos para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores do programa de Mestrado, pelo compartilhamento de conhecimento acadêmico e de vida.

Ao Centro Paula Souza, que através de curso técnico, graduação e do mestrado vem mudando a minha trajetória pessoal e profissional para melhor.

Aos amigos de turma André, Emerson e Leonardo por compartilharem suas dificuldades e sucessos, desde o início do curso até a obtenção do título de mestre.

À equipe administrativa do programa de Mestrado e demais amigos de turma, pelo suporte dado e amizade ao longo do curso

“O futuro pertence àqueles que acreditam na
beleza de seus sonhos.”
Eleanor Roosevelt

RESUMO

KELCH, R. S. **Pesquisa operacional empregada em simulador de eventos visualizada pela realidade virtual**. 94 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos). Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2021.

Esta pesquisa teve como objetivo investigar a capacidade do uso da realidade virtual em conjunto com um simulador 3D de eventos discretos na melhor compreensão de dados. A relevância desse estudo se dá pela adaptação dos óculos de realidade virtual da *Playstation* (exclusivo para console) que tem custo menor do que os óculos de realidade virtual próprios para computador. Também apresentou os principais recursos de um dos simuladores 3D mais utilizados na atualidade e, com ele, foram criados três modelos de simulação: implantação do trans elevador *miniload* na armazenagem de paletes; substituição do braço robô no abastecimento de linha; e, conversão de *layout* 2D em *layout* 3D animado. O método utilizado é o *design science* para o desenvolvimento da visualização em realidade virtual, e a simulação para a correta construção e análise dos modelos. Como principais resultados está a confirmação de que a navegação em realidade virtual realizada em um simulador de eventos discretos contribui para compreensão dos dados apresentados se comparado com os métodos convencionais. Ferramentas tecnológicas cativam a atenção das pessoas e é isso que a realidade virtual traz para os usuários do meio acadêmico e profissional. Os resultados das simulações mostraram ganhos na utilização do equipamento *miniload*, embora haja momentos de ociosidade; que o braço robô aumenta em 28% a produtividade da operação, e como o simulador pode ser eficiente quando usado para a criação de *layout* 3D. O software Trinus utilizado em conjunto com os óculos de realidade virtual mostraram-se capazes de suprir as necessidades do projeto, mesmo que tenham sido originalmente desenvolvidos para jogos de console. Os simuladores de eventos discretos também passaram por diversas atualizações, o que permitiu o uso pleno da realidade virtual, em projetos de simulação de eventos discretos em logística. Acredita-se que o uso dessas tecnologias se intensifique e se expanda cada vez mais, e para as mais diversas áreas do conhecimento.

Palavras-chave: Simulação computacional. Realidade virtual. *Layout*. Otimização de processos. Operações logísticas.

ABSTRACT

KELCH, R. S. **Operational research employed in an event simulator visualized by virtual reality.** 94 f. Dissertation (Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos). Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2021.

This research aimed to investigate the ability to use virtual reality in conjunction with a 3D simulator of discrete events to better understand data. The relevance of this study is given by the adaptation of PlayStation virtual reality glasses (exclusive for console) that have a lower cost than virtual reality glasses for computers. It also presented the main features of one of the most used 3D simulators today and, with it, three simulation models were created: implantation of the miniload stacker crane in the storage of pallets; replacement of the robot arm in the line supply; and conversion of 2D layout into animated 3D layout. The method used is design science for the development of virtual reality visualization, and simulation for the correct construction and analysis of models. The main results are the confirmation that the navigation in virtual reality performed in a simulator of discrete events contributes to the understanding of the data presented when compared to conventional methods. Technological tools captivate people's attention, and this is what virtual reality brings to users in the academic and professional environment. The results of the simulations showed gains in the use of the miniload equipment, although there are moments of idleness; that the robot arm increases the productivity of the operation by 28%, and how efficient the simulator can be when used for the creation of 3D layout. The Trinus software used in conjunction with the virtual reality goggles proved to be capable of meeting the needs of the project, even though they were originally developed for console games. The discrete event simulators also underwent several updates, which allowed the full use of virtual reality, in projects for the simulation of discrete events in logistics. It is believed that the use of these technologies will intensify and expand more and more, and for the most diverse areas of knowledge.

Keywords: Computer simulation. Virtual reality. *Layout*. Process optimization. Logistic operations.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Protocolo Design Science Research	48
Quadro 1: Protocolo Design Science Research (cont.).....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Cinco óculos de VR mais vendidos em 2019	31
Tabela 2: Dados para a criação do modelo do <i>miniload</i>	81
Tabela 3: Dados usados no modelo do braço robô.....	85
Tabela 4: Dimensão e quantidades para a criação do cenário 3D	89

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Caminhos para estudar um sistema.....	22
Figura 2: Resultado da simulação de impacto do caminhão com o pilar	26
Figura 3: Comparativo de impacto do projétil em velocidades diferentes.	27
Figura 4: Bancada para treinamento em realidade virtual	32
Figura 5: Relação entre aplicações da realidade virtual e aumentada	33
Figura 6: Estrutura simplificada da cadeia de suprimentos	39
Figura 7: Avanço da revolução industrial.....	41
Figura 8: Fluxo simplificado de fidelização do cliente	45
Figura 9: Evolução da ciência e da tecnologia	48
Figura 10: Proposta de protocolo para a aplicação da simulação.....	50
Figura 11: Conexão dos cabos dos óculos PSVR no computador.....	53
Figura 12: Configuração da aba <i>main</i> no Trinus	54
Figura 13: Configuração da aba <i>advanced</i> no Trinus.....	54
Figura 14: Configuração inicial do simulador Flexsim	56
Figura 15: Tela inicial do Flexsim.....	57
Figura 16: Tela configuração do bloco <i>Source</i>	58
Figura 17: Menu do objeto <i>processor</i>	59
Figura 18: Menu do objeto <i>combiner</i>	59
Figura 19: Menu do objeto <i>rack</i>	60
Figura 20: Transformando o rack em <i>stage</i>	61
Figura 21: Conexões básicas de <i>transport</i> no Flexsim.....	61
Figura 22: Inserção do objeto <i>sink</i> no modelo.....	62
Figura 23: Configuração do objeto <i>plane</i> para representar uma imagem.....	63
Figura 24: Uso básico do controle do Xbox no Flexsim	64
Figura 25: Executando a vista VR no simulador	65
Figura 26: Divisão da tela no Flexsim.....	66
Figura 27: Tela de ajuste da velocidade do controle Xbox	67
Figura 28: Utilização dos equipamentos	68
Figura 29: Diferença de tempo de processamento entre operador e braço robô	69
Figura 30: Comparação do <i>layout</i> 3D com o 2D.....	70
Figura 31: Modelo 3D do <i>miniload</i> construído	82
Figura 32: Criar prioridade nos transportadores.....	83

Figura 33: Inserção de <i>dashboard</i> no Flexsim	83
Figura 34: Usando o conta gotas para selecionar origem dos dados	84
Figura 35: Configuração do operador.....	86
Figura 36: Configuração do braço robô.....	86
Figura 37: Modelo 3D do braço robô pronto.....	87
Figura 38: Layout 2D da operação estudada	88
Figura 39: Menu para ajustar as dimensões dos objetos	90
Figura 40: Ajuste da altura do operador	90
Figura 41: Ajuste das dimensões das paredes	91
Figura 42: Local das ferramentas esteiras no simulador	92
Figura 43: Modificando a forma de um objeto 3D	93
Figura 44: Layout 3D recriado no Flexsim	94

LISTA DE SIGLAS

2D	Segunda dimensão
3D	Terceira dimensão
4G	Quarta geração
5G	Quinta geração
DSR	Design Science Research
HDMI	High Definition Multimedia Interface
PSVR	Playstation realidade virtual
USB	Universal serial Bus
VR	Realidade virtual

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	15
1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
1.1 Simulação computacional	18
1.2 Realidade virtual	29
1.3 Supply Chain Management - SCM	37
2 METODOLOGIA	48
2.1 Método design science na aplicação da realidade virtual	48
2.2 Método simulação na criação das simulações	51
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
3.1 Roteiro de configuração do software Trinus para o uso dos óculos de realidade virtual	53
3.2 Roteiro de configuração das principais ferramentas do simulador 3D	56
3.3 Navegação no simulador por meio dos óculos de realidade virtual	65
3.4 Análise da simulação do sistema <i>miniload</i>	69
3.5 Análise da simulação do braço robô	70
3.6 Navegação no simulador por meio dos óculos de realidade virtual	71
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	72
REFERÊNCIAS	75
APÊNDICE	82
Apêndice A: Criação da simulação do miniload.....	82
Apêndice B: Criação da simulação do braço robô	87
Apêndice C: Criação da simulação do braço robô	90

INTRODUÇÃO

Segundo Moreira (1998), a simulação teve seu início na forma de métodos matemáticos calculados a mão que exigiam alto nível de conhecimento matemático por parte do analista. Hoje esses cálculos são realizados por potentes computadores e simuladores com recursos 3D e tecnologias avançadas de realidade virtual e a realidade aumentada (ARTEIRO *et al.*, 2019).

A partir da primeira revolução industrial as ferramentas e métodos de gestão ganharam mais importância dando origem a diversas tecnologias utilizadas nos dias de hoje. Superpopulação, guerras e corrida comercial são outros dos fatores determinantes para a criação e atualização dessas ferramentas (ARTEIRO *et al.*, 2019).

A realidade virtual agregada em simulador de eventos discretos passa por adaptações de melhoria, o que a torna problemática para diversas pesquisas contemporâneas (DANG, COLLEEN e CHANDRASEKHAR, 2020). Para Sarkady, Neuburger e Egger (2021), um dos desafios da ferramenta é tornar as tecnologias de navegação em ambientes 3D financeiramente mais atrativas, sendo esse um dos motivos por não ser amplamente utilizada.

Nesse estudo foram criados três modelos de simulação: implantação de um trans elevador de paletes (também conhecido como *miniload*) para a armazenagem de paletes, o uso do braço robô para abastecimento de linha de montagem de kit e a conversão de um operacional *layout* 2D em *layout* 3D animado. As simulações do *miniload* e do braço robô mostram a relevância da automação de processos logísticos na otimização de processos, diminuição de custos e satisfação do cliente. Já a conversão de *layout* atualiza os paradigmas de como os desenhos 3D construídos em simuladores podem ser mais interessantes para a gestão e clientes, em comparação com o 2D.

O Flexsim foi o simulador escolhido para a construção das simulações. Esse simulador possui *interface* simplificada e baseada por fluxogramas. Além disso, possui recursos 3D avançados e configuração de visualização desenvolvida para aplicações em realidade virtual. Os dados utilizados para a criação das simulações e o conhecimento para a utilização do simulador são do acervo do autor, advindo de experiências profissionais obtidas nas áreas de logística e operações, bem como de sua formação acadêmica. Os óculos de realidade virtual utilizados são o PlaystationVR, que atualmente é fabricado exclusivamente para jogos. Com isso originou-se o desafio de adaptar o equipamento de games em uma ferramenta de gestão. Outro ponto importante é seu custo inferior aos óculos de realidade virtual dedicados para computador, pois, para Konina (2021), o alto custo de aquisição de equipamentos torna-os

menos acessíveis para pequenas e médias organizações. Outro software relevante utilizado no estudo é o Trinus, que se encarrega de realizar a adaptação, uma vez que os óculos VR da Playstation não interagem sozinhos no simulador.

Essa pesquisa é conduzida pelo seguinte problema: Qual é a mudança na compreensão de dados, ao analisar uma simulação navegada por meio dos óculos de realidade virtual, em relação à vista em tela do computador? Considerando que a realidade virtual é uma forma de visualização, responder essa pergunta também esclarecerá o porquê da pouca utilização da ferramenta no ramo corporativo (KONINA, 2021).

O objetivo geral é qualificar a experiência da navegação em realidade virtual em cenários criados em um simulador de eventos discretos 3D. Em outras palavras, visa descobrir se os esforços para aquisição e configuração são justificados pela experiência de navegar nos cenários 3D produtos da simulação. A pressão do mercado e o avanço da área logística embasam estudos voltados para realidade virtual e simulação (Konina, 2021). Ambas as ferramentas passam por atualizações que geram novos questionamentos para a continuidade científica. Para se atingir o objetivo geral, foram pautados 6 objetivos específicos:

- 1) Análise das simulações criadas por meio da navegação em realidade virtual;
- 2) Roteiro de configuração do *software* Trinus para o uso dos óculos de realidade virtual;
- 3) Roteiro de configuração das principais ferramentas do simulador 3D;
- 4) Simulação do uso do trans elevador *miniload* na armazenagem e separação de paletes;
- 5) Simulação da substituição do operador pelo braço robô no abastecimento de linhas;
- 6) Conversão animada do *layout* 2D em *layout* 3D realizada no simulador.

Para se atingir os objetivos elencados, deve ser iniciada a escolha de quais processos serão simulados: setor dos porta paletes, abastecimento das linhas e *layout* da operação de um centro logístico. Em seguida o tratamento de dados, a criação dos modelos de simulação 3D, a instalação e a configuração dos óculos e do software Trinus. E posteriormente utilizar os óculos de realidade virtual para visualizar os projetos criados no simulador e realizar considerações sobre as experiências obtidas.

Essa pesquisa utilizou os métodos *design science* e a simulação. A aplicação da realidade virtual é dirigida pelo protocolo do *design science*, por ser baseada na criação de artefatos comprovados para solucionar um problema real (BAX, 2017). A simulação como método de pesquisa também tem por característica a utilização de protocolo para a validação da pesquisa e conduz o desenvolvimento das simulações. É importante adotar algum método de

pesquisa, já comprovado cientificamente, para que a pesquisa tenha maior credibilidade, quanto a veracidade dos resultados (BAX, 2017).

Entre as entregas do estudo existe a possibilidade de que as organizações possam utilizar a realidade virtual junto com o simulador 3D para entender melhor seu sistema produtivo de forma quantitativa ou qualitativa, de forma pragmática ou subjetiva. Simultaneamente pode ser uma ferramenta interessante para a apresentação de serviços ao cliente, uma vez que normalmente os resultados de otimizações são apresentados por meio de *slides* ou *dashboards*. Treinamentos de colaboradores e ou o uso acadêmico também entram na lista de produtos da realidade virtual por contribuírem da compreensão do conteúdo e enriquecer a interação entre aluno e instrutor. Para o fornecedor do simulador, existirá outra possibilidade de óculos VR, desta vez de baixo custo, para que seus clientes iniciem a realidade virtual. Aqueles já possuem os óculos PSVR para jogos, podem aproveitá-los para realizar experimentos acadêmicos ou corporativos.

1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A busca pelo referencial teórico teve como principais palavras-chave: Simulação computacional; Realidade virtual; *Layout*; Otimização de processos; Operações logísticas. Para sua escrita esses termos foram pesquisados nas plataformas Web of Science, Scopus, Scielo e Google scholar. Esse tópico é dividido em três partes cuja maior parte dos trabalhos consultados possuem limite máximo de cinco anos desde a data de sua publicação. Algumas exceções foram concedidas para materiais que trouxeram conceitos clássicos.

1.1 Simulação computacional

Para Banaszek (2017), no século XVII as presunções utilizadas na investigação pelo entendimento foram consideradas como uma forma de simulação. Entretanto, o primeiro estudo mais relevante sobre simulação foi o de Monte Carlos em meados de 1940 que encontrou a solução ótima de um problema por meio da simulação de processos que interagem entre si. Esse estudo foi um dos pioneiros com relevância que tratou a aplicação de hipóteses para a solução de um problema. Esse experimento, embora tenha sido aplicado na filosofia, já era possível buscar soluções por caminhos ainda não trilhados. Nas décadas de 1980 e início de 1990, devido ao alto custo dos computadores, necessidade de programação e armazenamento insuficiente de dados, a simulação era limitada a um pequeno número de usuários (BANASZEK, 2017).

A Pesquisa Operacional – PO é um método científico projetado para fornecer soluções quantitativas para o processo de tomada de decisão. É caracterizada pelo uso da programação linear, teoria das filas, simulação, programação dinâmica, teoria dos jogos, entre outras. Na segunda guerra mundial o termo PO foi apresentado quando pesquisadores desenvolveram soluções focadas problemas em operações militares (KLOOCK-SCHREIBER *et al.*, 2020). Conforme os resultados positivos dessa aplicação, as pesquisas foram avançadas para que a PO fosse adaptada para a resolução de problemas de gestão.

De acordo com a resposta que o analista necessita, existem três tipos diferentes de modelos: modelos conceituais, modelos simbólicos ou matemáticos e modelos heurísticos. O modelo conceitual conecta de forma sequencial e lógica as informações e os estágios do processo de tomada de decisão para o desenvolvimento consistente do projeto. O modelo matemático baseia-se na conjectura de que todas as informações e variáveis relevantes no problema podem ser quantificadas. Os modelos heurísticos são usados quando se deseja encontrar a solução de um problema considerado difícil, contudo são empregadas ferramentas e métodos mais singelos, e na maioria das vezes se perde precisão. Esse método pode ser uma técnica deliberada de resolução de problemas ou uma operação comportamental automatizada, intuitiva e inconsciente (KLOOCK-SCHREIBER *et al.*, 2020).

A simulação discreta é geralmente usada para avaliar e / ou analisar o desempenho de sistemas de produção ou serviço, especialmente aqueles de produção mais complexa nos quais vários eventos interdependentes ocorrem simultaneamente. Segundo Fraga (2017), a simulação de eventos discretos ocorre por meio da ocorrência de eventos, mudanças no estado das variáveis em pontos discretos no tempo. Poucos sistemas são completamente contínuos ou discretos e a ocorrência do evento no sistema em questão é normalmente considerada no processo de modelagem (FRAGA, 2017).

A simulação é uma ferramenta de análise que visa não apenas a solução de problemas por meio da criação de modelos, mas também gera melhor entendimento sobre os sistemas para os gestores (VIEIRA *et al.*, 2017). Kloock-Schreiber *et al.* (2020) definem um sistema de simulação como um conjunto de componentes que recebem entradas de dados orientadas pelo usuário e produzem saídas de dados trabalhadas. Um sistema de modelagem pode ser determinístico ou aleatório, estático ou dinâmico, contínuo ou discreto.

Em sistema contínuo, as mudanças em fases ocorrerão continuamente ao longo do tempo. Em sistema de eventos discretos, as mudanças de estado ocorrem em pontos específicos no tempo. O objetivo do modelo de simulação de eventos discretos é reproduzir as atividades das entidades que compõem o sistema e, a partir daí, compreender o comportamento e o desempenho do sistema. Portanto, a simulação de eventos discretos é um método em que uma mudança no estado de uma entidade (caracterizada por uma variável) ocorre imediatamente e é determinada pelo valor da variável quando o evento ocorre (KLOOCK-SCHREIBER *et al.*, 2020). No modelo discreto, as mudanças do sistema ocorrem dentro de um intervalo de tempo específico definido.

Conforme os fenômenos da simulação, as mudanças em um processo são ser consideradas aleatórias ou determinísticas. Em um sistema determinístico o comportamento é previsível e determinável, cujo resultado do sistema é previsto com base nos dados de entrada. Eventos determinísticos foram planejados e organizados, como paradas de produção, turnos e manutenções, com o objetivo de manter um processo produtivo confiável (VIEIRA *et al.*, 2017).

A teoria das filas é um método de análise que pode resolver problemas de modelagem de sistema por meio de fórmulas matemáticas. Na prática, o estudo da teoria das filas envolve dois aspectos principais: a escolha de um modelo matemático apropriado para representar totalmente o sistema para determinar os indicadores de desempenho mais adequados; e a implementação de modelos de tomada de decisão com base em indicadores de desempenho e, apesar de problemas matemáticos, pode melhorar o processo de atendimento ao cliente (KLOOCK-SCHREIBER *et al.*, 2020).

Nas estatísticas o termo população é usado para indicar o conjunto de elementos com algo em comum e é dividida em finita e infinita. População limitada é quando o número de elementos no grupo não é muito grande. População infinita: é caracterizada quando o número de elementos é muito grande e é considerado infinito ou incontável. A amostra envolve parte do grupo. Em se tratando de análise de dados, utilizar a amostra é importante nos casos que a população seja muito grande (DOBRÁNSKY *et al.*, 2016).

Uma entidade é aquilo que trafega ou é movido por dentro de um sistema e seu comportamento no modelo será observado ao longo do processo de simulação. O modelo simulado rastreia o comportamento de cada entidade com informações detalhadas sobre seu estado e possíveis estados futuros no sistema. O enfileiramento de entidades ocorre porque a demanda pelo serviço é maior do que a capacidade do sistema de atender a essa demanda. Basicamente, pode-se concluir que gestores de empresas privadas e instituições públicas não aumentam sua capacidade de atendimento por dois motivos: inviabilidade econômica e limitação de espaço (DOBRÁNSKY *et al.*, 2016). Filas geram prejuízos aos clientes por perderem seu tempo em um processo que não agrega valor. Um sistema que a capacidade é maior que a demanda ocasiona ociosidade dos operadores. Embora seja uma prática favorável ao cliente, isso gera não é uma prática otimizada por parte do fornecedor do serviço.

Para Kloock-Schreiber *et al.* (2020), a simulação estática é uma representação do sistema em um ponto específico no tempo e a simulação dinâmica é uma representação de um sistema que se desenvolve ao longo do tempo. Em outras palavras, pode se dizer que um sistema

estático, as variáveis não mudarão com o tempo. No sistema dinâmico, as variáveis mudam com o tempo, de forma que o comportamento do sistema pode ser monitorado em momentos diferentes.

O sistema de simulação que não depende apenas dos dados de entrada do sistema, mas também de fatores aleatórios, apresentando comportamento imprevisível, sendo esse chamado de estocástico (VIEIRA *et al.*, 2017). Os eventos aleatórios não são planejados e podem ocorrer a qualquer momento, como falha de equipamento. Em linhas de produção, por exemplo, a simulação estocástica é usual porque as variáveis dos processos de chegada, processamento, formação de fila e saída são alteradas conforme a mudança de estado de cada uma ao longo do tempo.

Segundo Kloock-Schreiber *et al.* (2020), a simulação computacional é uma das três ferramentas mais utilizadas pelos pesquisadores da área de engenharia da operação. O avanço visual dado pelos simuladores 3D gera aumento das possibilidades de aplicação. A criação de objetos ou cenários no simulador são consideradas simulações, mesmo que não tenham a passagem de entidades pelo sistema. Trata-se de representações que tem a mesma função das maquetes físicas. O analista pode mudar objetos de lugar e chegar a conclusões mesmo que subjetivas. Em alguns softwares de simulação, as entidades devem ser agrupadas em classes, que são compostas por entidades semelhantes com características e atributos semelhantes. Se a entidade estiver ocupada, esse será seu status. A entidade permanece neste estado por um período, e o momento em que seu estado muda é chamado de evento de tempo ou evento.

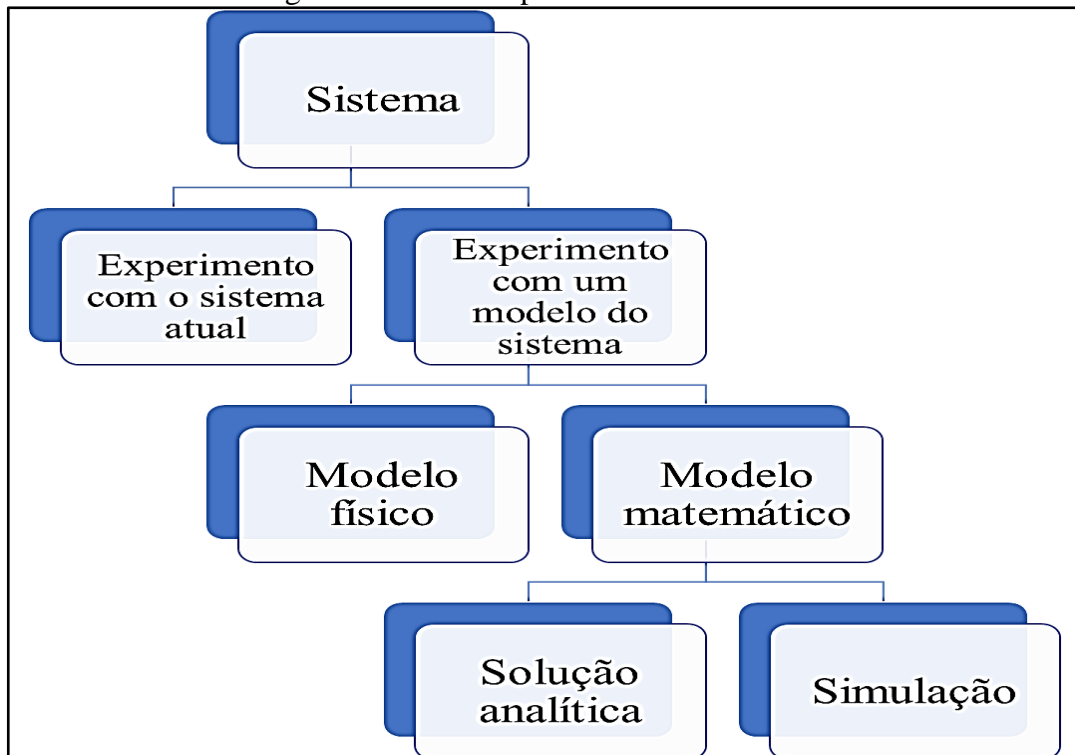
Na análise dos dados de entrada, a distribuição estatística propicia melhores resultados em relação ao uso de dados empíricos, pois o segundo pode conter irregularidades, principalmente quando não há dados disponíveis. A distribuição estatística suaviza os dados e é uma forma compacta de representar o conjunto de valores. Entretanto, os dados empíricos podem ser utilizados quando sugeridos por profissionais experientes, em casos que a coleta de dados não foi possível (BANASZEK, 2017).

Na fase de projeção, o analista de simulação deve compreender claramente o sistema a ser simulado e seus objetivos. Além disso, reuniões de *brainstorming* com a equipe envolvida tendem a ajudar a definir o escopo do modelo, suas suposições e seu nível de detalhe. O uso do *software* para criar as simulações para a realização das análises é uma etapa que responde por 20% a 30% do tempo total do projeto (BANASZEK, 2017). Na fase final de análise, o modelo computacional está pronto para experimentação, resultando em um modelo operacional.

A verificação e validação são os passos mais importantes após a criação de um modelo de simulação. A verificação está ligada à construção correta do modelo e serve para comparar o sistema com o modelo criado. A validação constata a precisão dos dados do modelo em representar o sistema real, sendo esta precisão alcançada através da calibração do modelo (BANASZEK, 2017).

Para Ferrari (2020), um sistema pode ser analisado com a alteração física real ou por meio de um modelo do sistema e, se escolhido o segundo, a simulação matemática computacional é a melhor alternativa se comparada ao modelo físico e solução analítica devido ao custo e tempo de criação do projeto. Entretanto, casos de micromodelos a solução analítica pode ser a mais interessante. A Figura 1 apresenta uma sugestão para a análise de sistemas produtivos.

Figura 1: Caminhos para estudar um sistema



Fonte: adaptado de Ferrari 2020

Segundo Banaszek (2017), entre os principais simuladores o que se torna comum é o valor consideravelmente alto de em média R\$20 000,00 por licença. Os interessados em projeto de simulação são praticamente forçados a adquirir os simuladores pagos devido à falta de simuladores gratuitos com recursos avançados (KRAUS e SHABALIN, 2020). O valor pago pelo simulador e a falta de conhecimento técnico do usuário que, possivelmente precisará de um curso pago no fornecedor do *software*, são pontos fracos da estruturação da área de

simulação. A quantidade de recursos computacionais e a também grande quantidade de programação necessária são outras barreiras para que a simulação computacional fosse limitada a uma pequena parte por um longo tempo (BANASZEK, 2017). No entanto, hoje em dia, softwares e programas de simulação rodando em microcomputadores têm se tornado cada vez mais "amigáveis". Existem simuladores gratuitos disponíveis para download, entretanto não possuem a mesma quantidade de ferramentas que os produzidos por empresas especializadas.

Dobránsky *et al.* (2016), explicam que a simulação matemática é mais lenta em relação a computacional no desenvolvimento dos modelos quando o sistema possuir muitas variáveis. O resultado da simulação computacional pode ser alterado com a simples movimentação dos objetos. Os cálculos de distancias são atualizados automaticamente, não necessitando de alterações na estrutura. Com isso os transportadores ou entidades chegarão em mais ou menos tempo e o resultado será alterado. Modelos físicos como as maquetes ou máquinas são limitados pelo alto custo para o seu desenvolvimento e o tempo para sua criação.

A simulação pode ser aplicada ao campo militar, precisão meteorológica, condução de veículos e muitos outros campos (WOUDSMA, JAKUBICEK e DABLANC, 2016). As atualizações dos softwares de simulação trouxeram novas aplicações que, além de otimizar os processos, ainda podem servir para treinamentos ou venda dos serviços (WOUDSMA, JAKUBICEK e DABLANC, 2016). A medicina é um campo que aderiu a realidade virtual. As aplicações mais comuns são as relacionadas a neurociência, justamente pelo fato de a ferramenta trabalhar com o processamento sensitivo ocorrido pela imersão em ambientes 3D.

Os módulos de realidade virtual possibilitam realizar aplicações voltadas para treinamentos de colaboradores considerando as variáveis do local de trabalho do próprio colaborador (VIEIRA *et al.*, 2017). Nas empresas as simulações procuram responder alguma problemática e o resultado normalmente são apresentados por slides convencionais ou planilhas de Excel. Informações com abundância de dados ou dados mal organizados prejudicam o entendimento gerando em muitos casos a dispersão (WARMELINK *et al.*, 2018). Por esse motivo o uso de modelos 3D, realidade virtual e *dashboards* contidos em simuladores atuais são considerados diferenciais na hora de disseminar o conhecimento gerado.

A simulação computacional quando submete o usuário ao cenário otimizado ou inédito gera novas possibilidades de criação de ideias. De acordo com Tang *et al.* (2020), um exemplo disso são os simuladores de autoescola. Os simuladores são capazes de substituir a experiência de dirigir na rua ao fazer com que o aluno possa errar sem causar danos ao ambiente ou

pedestres. Além da possibilidade de colisões que ocorre no simulador o aprendizado ofertado gera maior confiança ao aluno para quando for realizada a prática no mundo real.

Em seu estudo, Kraus e Shabalin (2020), utilizaram dois modelos de simulação para demonstrar a possibilidade de usar software de simulação de eventos discretos como um ambiente de treinamento para controle automático de lógica de processo industrial. No experimento, um modelo de simulação recebe sinais de comando de um controlador lógico programável. O ambiente virtual proposto derivado do modelo de simulação possibilita a realização de diferentes testes da lógica de controle.

A gamificação é desenvolvida com base na mecânica, estética, atração, aprendizagem e resolução de problemas. Para Toma (2020), na criação de simulações voltadas para o aprendizado, o objetivo é encontrar um equilíbrio entre o desejo do aluno de jogar e avançar fases, com o do educador em passar a informação e ser compreendido. Toma (2020), analisou dois elementos-chave na aprendizagem baseada em jogos: a complexidade do jogo e a familiaridade do jogo. A complexidade do jogo se refere ao grau que os jogos precisam de habilidade cognitiva humana. A familiaridade com o jogo está relacionada a qualidade gráfica e a semelhança com o mundo real. São conceitos importantes porque esses elementos do jogo podem ativar a atividade cortical no lobo pré-frontal córtex, que leva ao engajamento (TOMA, 2020). Entretanto, gastar horas em simulação virtual pode causar perdas significativas de concentração nos materiais.

Os principais simuladores 3D disponíveis no mercado são Arena, Promodel, Anylogic e Flexsim cada um com sua particularidade e benefícios. São softwares que tem em comum a mecânica, pois trabalham com o arrastar dos objetos para a tela de edição (ARTEIRO *et al.*, 2019). Também tem em comum o suporte dado na construção dos modelos e oferecimento de cursos para os usuários que não tiveram contato com a ferramenta. O que muda, basicamente, é a forma de configuração dos objetos e a disponibilização dos dados para a realização de análises. Hoje todos esses simuladores têm a tradução em português, mas o Promodel foi o primeiro a ter esse recurso (ARTEIRO *et al.*, 2019).

O Flexsim tem apenas o *layout* de construção dos modelos em 3D o que o torna mais fácil de se utilizar, mas que necessita de potentes computadores quando os modelos possuem muitos itens. Se o computador for de baixo desempenho, ao iniciar um modelo com muitos objetos movendo-se ao mesmo tempo, gerará travamentos e a dificuldade de interpretação dos dados. O modo de visualização em realidade virtual presente no simulador Flexsim se diferencia dos concorrentes, o que gera novas possibilidades de aplicação.

O simulador Anylogic possui vasta biblioteca de objetos gráficos e dashboards dinâmicos. Outro ponto favorável dele é a integração com o GPS GIS (Sistema de gestão de dados geográficos) que auxilia na criação de modelos logísticos que abordam rotas sem a necessidade do conhecimento das coordenadas geográficas.

O Simulador Arena trabalha tanto no modo 2D quanto no 3D, sendo o segundo mais complicado para iniciantes. O simulador arena é o software de simulação com mais publicações científicas nos últimos cinco anos (CAO *et al.*, 2019). A vantagem em relação ao modo 3D é que a simulação não depende tanto dos recursos gráficos. Não se pode confundir a questão gráfica com o uso do processamento em si. Modelos com poucos recursos visuais, mas grande quantidade de dados para serem processados, também necessitarão de computadores potentes para sua execução. Existem várias situações que podem requerer simulação de cálculo. Por exemplo, pode-se citar a pesquisa sobre filas, seja no campo comercial ou industrial, seja o fluxo de navios no sistema portuário, as previsões meteorológicas, placas ou outras estruturas e o fluxo de calor no sistema de *call center*.

Segundo Cao *et al.*, (2019), a simulação também é amplamente utilizada para testar equipamentos como aviões, automóveis e outras estruturas. Conforme uma área apresenta resultados ao utilizar determinada ferramenta, é comum que outras também se interessem por ela. A ciência tem importante contribuição na difusão das feramente tecnológicas por meio das publicações e debates frutos das pesquisas.

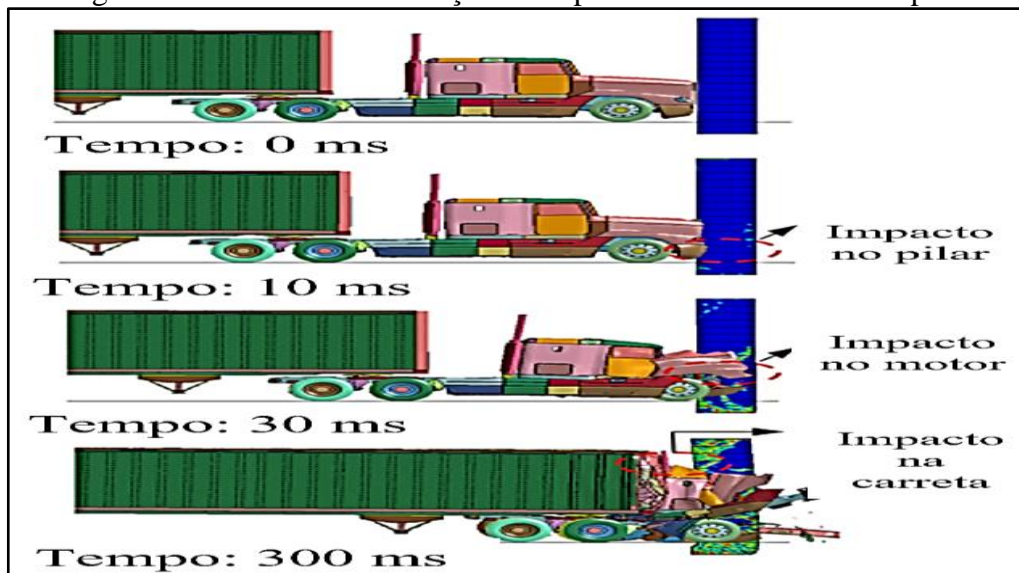
Para Arteiro *et al.* (2019), os modelos de simulação computacional são capazes de prever desgastes físicos, falhas ou quebras de objetos sólidos. O maior desafio na construção de modelos que representam desgastes é a forma que o sólido é construído no simulador. Deve-se atentar a cada característica como, por exemplo, a colisão de um automóvel, cujo cada parte do veículo tem uma dureza diferente.

Gravidade, velocidade, temperatura e dureza são exemplos de variáveis consideradas em um projeto de simulação de objetos sólidos. Isso remete a importância da também correta coleta das características daquilo que será recriado ou criado no simulador para que sejam feitas análises mais assertivas e os experimentos pós criação sejam confiáveis (GU e LI, 2019). Essa categoria de aplicação proporciona que algo seja testado conforme seus atributos e que sejam previstas situações adversas ou que os projetos de fabricação sejam ajustados para melhor desempenho.

O setor de fabricação de aeronaves utiliza a simulação com frequência, uma vez que a ferramenta substituir os experimentos físicos que são mais custosos e, muitas das vezes, consomem mais tempo de desenvolvimento (TANG *et al.*, 2020). Até pouco tempo a indústria aérea realizava testes de aerodinâmica com aviões com dimensões proporcionalmente menores ao tamanho real. Com a criação do avião virtual no simulador, podem ser realizados diversos experimentos que visam a o aumento de potência, desgastes ou até mesmo a colisão de pássaros com o barbariza.

A indústria automobilística realiza colisões de veículos nos ambientes simulados para prever os impactos na estrutura e como isso afetaria os ocupantes. Cao *et al.* (2019), em um estudo que simulou a colisão de caminhões em pilares de uma ponte, concluíram que um pilar com certa característica poderia ser destruído conforme o peso e velocidade do veículo. Algumas hipóteses foram aplicadas ao modelo e o resultado foi a alteração dos pilares estudados no simulador para que a possibilidade de quebra fosse minimizada. A Figura 2 ilustra o resultado dos possíveis impactos do caminhão no pilar.

Figura 2: Resultado da simulação de impacto do caminhão com o pilar

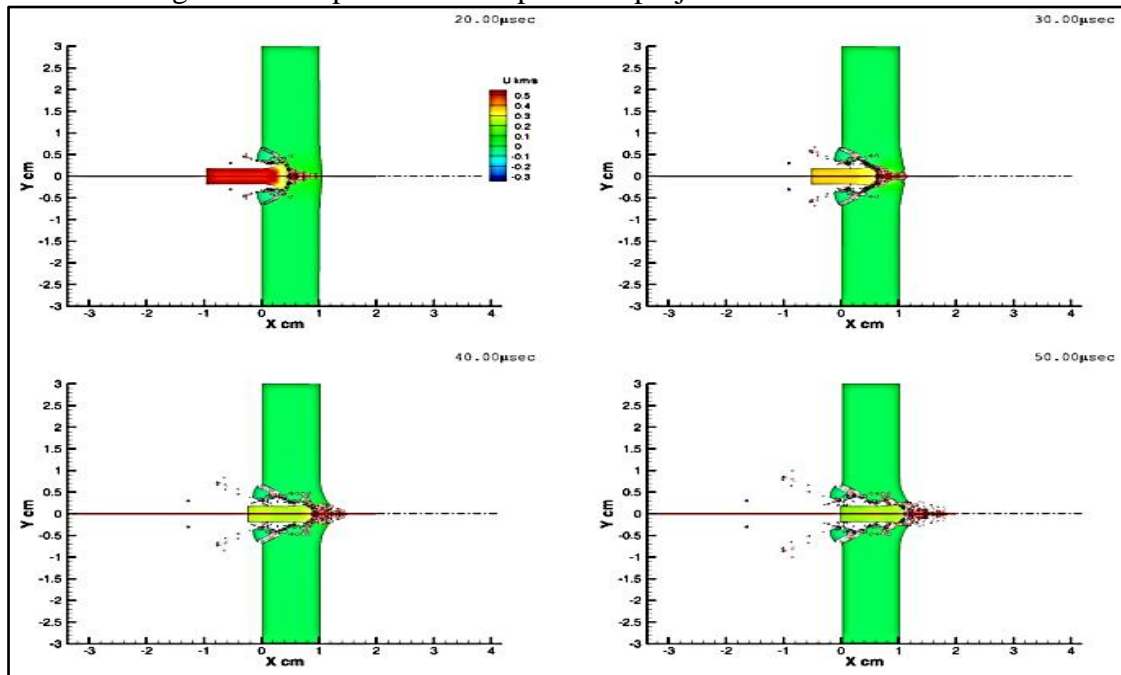


Fonte: adaptado de Cao *et al.* (2019)

Estudos realizados por fabricantes de armamentos usam a simulação para entender a trajetória e impacto dos projéteis (KRAUS e SHABALIN, 2020). A aplicação é difícil de realizada porque demanda a maior parte do tempo do projeto de fabricação e por também necessitar de profundos conhecimentos matemáticos para o desenvolvimento de fórmulas mais complexas. A Figura 3 mostra como o simulador pode apresentar os resultados de forma visual

e não apenas qualitativamente. Ao observar o impacto do projétil na tela do computador, já se pode realizar considerações sobre qual hipótese seguir.

Figura 3: Comparativo de impacto do projétil em velocidades diferentes.



Fonte: Kraus e Shabalin (2020, p. 6)

Ainda segundo Kraus e Shabalin (2020), a simulação computacional é aplicada para representar a devastação causada por bombas nucleares. Os cenários são criados de maneira que representem o território atingido. São considerados o raio de destruição, radiação deixada e até o número possível de vítimas. Com isso os governos podem traçar planos de ação para salvar vítimas ou criar proteções para seus armamentos. Estudos dessa amplitude são inviáveis para realizar experimentos reais porque é custoso e pela imensa destruição ambiental que certamente causaria, mas possível em um simulador.

Em aeroportos é comum a prática de testes de evacuação em casos de emergência que já podem ser substituídos por simuladores baseados em agentes. Para Ucgul (2019), o uso da simulação discreta e baseada em agentes combinadas e aplicadas em catástrofes, com as possíveis em aeroportos, possibilita a criação de rotas de fuga com distâncias minimizadas e a criação de pontos com equipes de resgate.

Para Banaszek (2017), quando a simulação é aplicada ao processo de recebimento de suprimentos navais para identificar gargalos no fluxo de materiais e no sistema de abastecimento, conclui-se que é possível analisar características comportamentais dos

colaboradores e compreender os efeitos da mudança de procedimentos específicos, a fim de fornecer soluções alternativas para os obstáculos no processo logístico. Os colaboradores podem sentir-se mais ou menos dispostos a realizar uma atividade, se acharem que o processo está correto. A otimização é um fator de motivação porque indica a correta execução e que não há desperdício de energia e tempo.

No estudo de Fraga (2017), além de utilizar algoritmos de otimização combinados com modelos de simulação, também utiliza simulação de eventos discretos para representar a produção de emissões de dióxido de carbono na cadeia logística dos veículos de transporte durante a entrega. O simulador utilizado nesse estudo foi capaz de determinar a melhor opção entre as hipóteses, bem como o lead time variável, a emissão e o tempo de transporte.

Para Kloock-Schreiber *et al.* (2020), é possível avaliar a relação conflituosa entre as variáveis relacionadas às emissões de gases e os custos de transporte de diferentes empresas. Ao analisar o sistema logístico para analisar as emissões de gases de efeito estufa dos veículos utilizados no transporte de mercadorias, o simulador foi integrado na cadeia de suprimentos relacionando diversas variáveis. Diferente da logística interna, simular uma cadeia inteira requer a obtenção de dados de terceiros e a validação conjunta dos resultados.

Conforme Vieira *et al.* (2017), a aplicação da simulação em terminais marítimos possibilita a expansão da operação em tamanho e em capacidade operacional. Ao analisar os subprocessos do terminal de transporte relacionados ao fluxo de contêineres vazios para otimizar a operação, fez com que os custos operacionais fossem percebidos e reduzidos, o que garantiu o alto nível de atendimento ao cliente. Criar modelos na tela do computador que representam grande operações contribui para a visualização do todo.

Warmelink *et al.* (2018), propuseram um método para diagnosticar o processo de atendimento de agências bancárias por meio de mapeamento de processos e simulação computacional. O mapeamento de processos permite a identificação e eliminação de atividades que não agregam valor ao sistema, simplificando e robotizando as operações básicas. As mudanças no *layout* da operação são testadas no simulador e o resultado se resume em como elas afetam o índice de desempenho e com propor modificações reais para minimizar o índice.

A simulação foi utilizada com o objetivo de reduzir o gargalo causado pela grande quantidade de caminhões que entram no porto. Esse terminal retro portuário é responsável por receber o tráfego de caminhões e transportar as mercadorias por meios mais sustentáveis, como hidrovias e ferrovias (WOUDSMA, JAKUBICEK e DABLANC, 2016). A escolha de um

modal é uma hipótese a ser testada. Quando o modelo de simulação é criado e o modal utilizado é substituído por outros modais, gera confronto entre as possibilidades e discussão para tomada de decisão.

1.2 Realidade virtual

A realidade virtual é uma das formas de interação entre usuário e o ambiente virtual por meio de uma unidade de processamento e de periféricos. Lawson *et al.* (2016), entendem a realidade virtual como a tecnologia que insere uma ou mais pessoas em um ambiente virtual mantendo a percepção como se fosse o mundo real. Os modelos virtuais imersivos transferem as sensações ao usuário. Um exemplo disso é colocar em um prédio virtual alto o usuário que tem medo de altura. Os medos sentidos na realidade serão semelhantes aos sentidos no mundo virtual.

Outra definição que corrobora com o autor anterior é a de, Slater e Sanches-Vives (2016), que a realidade virtual visa criar um ambiente tridimensional que representa o mundo real de forma visual e sensitiva. Um veículo de dois metros de largura, na realidade virtual também é visto com a mesma dimensão. Além dos objetos, o caminhar pelo modelo 3D, se tiver de acordo com a velocidade média de uma pessoa, passará ao usuário a ideia de longitude e ou proximidade.

A realidade mista é uma atmosfera que os conteúdos reais e virtuais colidem e interatuam. A realidade mista não é apenas uma alternativa para a versão aprimorada da realidade virtual. Pelo contrário, é uma perspectiva única que enriquece a percepção das pessoas sobre os ambientes reais e virtuais. Flexibilidade, imersão, interatividade, coexistência e melhoria são os aspectos básicos da realidade mista (SLATER e SANCHES-VIVES, 2016).

De acordo com Lawson *et al.* (2016), a realidade virtual melhora a avaliação durante a prototipagem, produção e fabricação. Também pode fazer parte do processo de *design* e, em última análise, pode ser usada para *marketing*. A ferramenta também oferece aos consumidores a possibilidade de participar do *design* e até mesmo do *design* dos produtos que desejam comprar. Na verdade, a realidade virtual combinada com a impressão 3D pode mudar

completamente a maneira como os produtos são projetados, fabricados e entregues, fornecendo aos consumidores enorme poder e possibilidades.

Os aspectos técnicos e imersivos da realidade virtual promovem a diversidade de definições. No entanto, a mediação entre tecnologia e apresentação centra-se na imersão (SLATER e SANCHES-VIVES, 2016). Portanto, imersão e interatividade. Em um sentido mais estrito, uma vez que a informação visual tende a se sobrepôr a todos os outros sentidos, a sensação de imersão implica que o aspecto visual da experiência é o efeito sensorial final da ferramenta.

Embora a realidade virtual seja projetada para aumentar a participação do usuário em um ambiente virtual, o efeito cumulativo de imersão e interação não significa, necessariamente, a utilização do ambiente 3D digital. Slater e Sanches-Vives, (2016), exploraram ambientes em VR e 3D construídos com a fotografia e digitalização a *laser* para criar aplicativos que podem ser usados para vários fins como: museus virtuais, reconstruções virtuais, aventuras virtuais e patrimônio cultural.

A realidade virtual visualizada por meio de um monitor é caracterizada como não imersiva. Sua aplicação em computador ou *smartphone* pode exibir conteúdo virtual sem rastrear os gestos do usuário. Na realidade aumentada é preciso do processo de rastreamento, enquanto na realidade mista os periféricos devem ser calibrados. É importante distinguir entre calibração e rastreamento; o primeiro se refere ao ponto de vista inicial e os atributos da câmera, enquanto o último se refere à reavaliação contínua da imagem (SLATER e SANCHES-VIVES, 2016).

Os métodos de modelagem de cenários em realidade virtual são divididos em aparência da cena, comportamento baseado na física e modelagem combinada entre real e virtual (BEKELE *et al.*, 2018). A aparência da cena e o modelo virtual combinados são muito comuns em aplicações de VR para patrimônio cultural, porque o primeiro se concentra em representar as características geométricas de objetos, enquanto o último se refere à combinação de conteúdo gerado por computador.

O termo que se confunde com realidade virtual é a realidade aumentada que, segundo Bekele *et al.* (2018), insere os objetos 3D no mundo real, ou seja, no instante que o usuário entra no sistema, ele enxerga o mundo real que receberá objetos virtuais. Hoje existe treinamento que no lugar do operador realizar o circuito embarcado na empilhadeira com obstáculos reais, ele trafega por um espaço que, ao olho das outras pessoas está vazio, mas nos óculos do operador aparecem as barreiras que simbolizam paletes, pessoas e equipamentos.

Com isso o operador adquire o conhecimento prático, mas extingue o risco de colisão. Um outro exemplo da aplicação da realidade aumentada é o jogo para celular Pokémon GO. O jogo usa a câmera do celular para inserir personagens animados no mundo real para serem capturados.

A tecnologia de virtualização é baseada nas tecnologias de realidade virtual e realidade aumentada. É entendida como a integração de representações do ambiente real com informações que trazem valor aos usuários (LAWSON *et al.*, 2016). Em outras palavras, informações virtuais podem ser adicionadas à representação do mundo real para enriquecer a percepção humana da realidade por meio de elemento, conteúdo ou ênfase (LAWSON *et al.*, 2016). Para este fim, os aplicativos de realidade virtual e aumentada existentes associam a interface gráfica com a visão do usuário do ambiente real. Isso é obtido por meio de hardware, como sistemas fixos de observação, sistemas de observação espacial, monitores montados em capacetes especiais, óculos inteligentes e lentes inteligentes.

Segundo Hinsch, Chris e Rauschnabel (2020), os óculos mais vendidos no ano de 2019 em todo mundo foi o PSVR da Playstation com 1.300.000 unidades, entretanto seu uso é destinado para games, não podendo ser usado em um computador sem a utilização de softwares complementares. O segundo mais vendido é o Óculos Go exclusivo para computador com preço superior ao do PSVR. O terceiro é o Samsung Gear que é utilizado em celulares. HTC Vive e Óculos Rift fecham a lista dos cinco mais vendidos conforme o Tabela 1.

Tabela 1: Cinco óculos de VR mais vendidos em 2019

Venda de óculos VR em 2019	
PSVR	1.300.000
Óculos Go	1.200.000
Samsung Gear	600.000
HTC Vive	200.000
Óculos Rift	100.000

Fonte: Adaptado de Hinsch, Chris e Rauschnabel (2020).

Os óculos de realidade virtual são imprescindíveis para a navegação nos modelos 3D. O celular também se aplica para essa finalidade, mas hoje ainda tem qualidade gráfica e possibilidades de interação inferiores aos óculos próprios para VR. Para realizar as movimentações dentro do ambiente 3D são utilizados *joystick* ou manipuladores específicos. O cenário criado para a realidade virtual tem como característica a tela duplicada que será unida

pela interação das lentes por meio dos óculos à visão do usuário. O design impede a entrada de luz interna, o que contribui para a visualização e imersão.

Em seu estudo, Bekele *et al.* (2020), apontou que luvas táteis utilizadas em ambientes VR podem contribuir para análises ergonômicas. As variáveis de força, posição e movimento das mãos podem ser representadas virtualmente. Além disso, a adição de *feedback* de força para VR pode ser alcançada ao submeter o usuário a atividades de montagem ou desmontagem, por exemplo. Os periféricos que possuem essa característica de resposta de força aliados as atividades em VR são capazes de recriar atividades consideradas ruins ao corpo humano e, com o mapeamento fino das atividades, os processos são corrigidos e/ou melhorados. A Figura 4 apresenta uma bancada criada para navegação em VR com diversas ferramentas. É um exemplo de como a aplicação contribui em treinamentos que poderiam ser perigosos na realidade para uma pessoa ainda não treinada.

Figura 4: Bancada para treinamento em realidade virtual

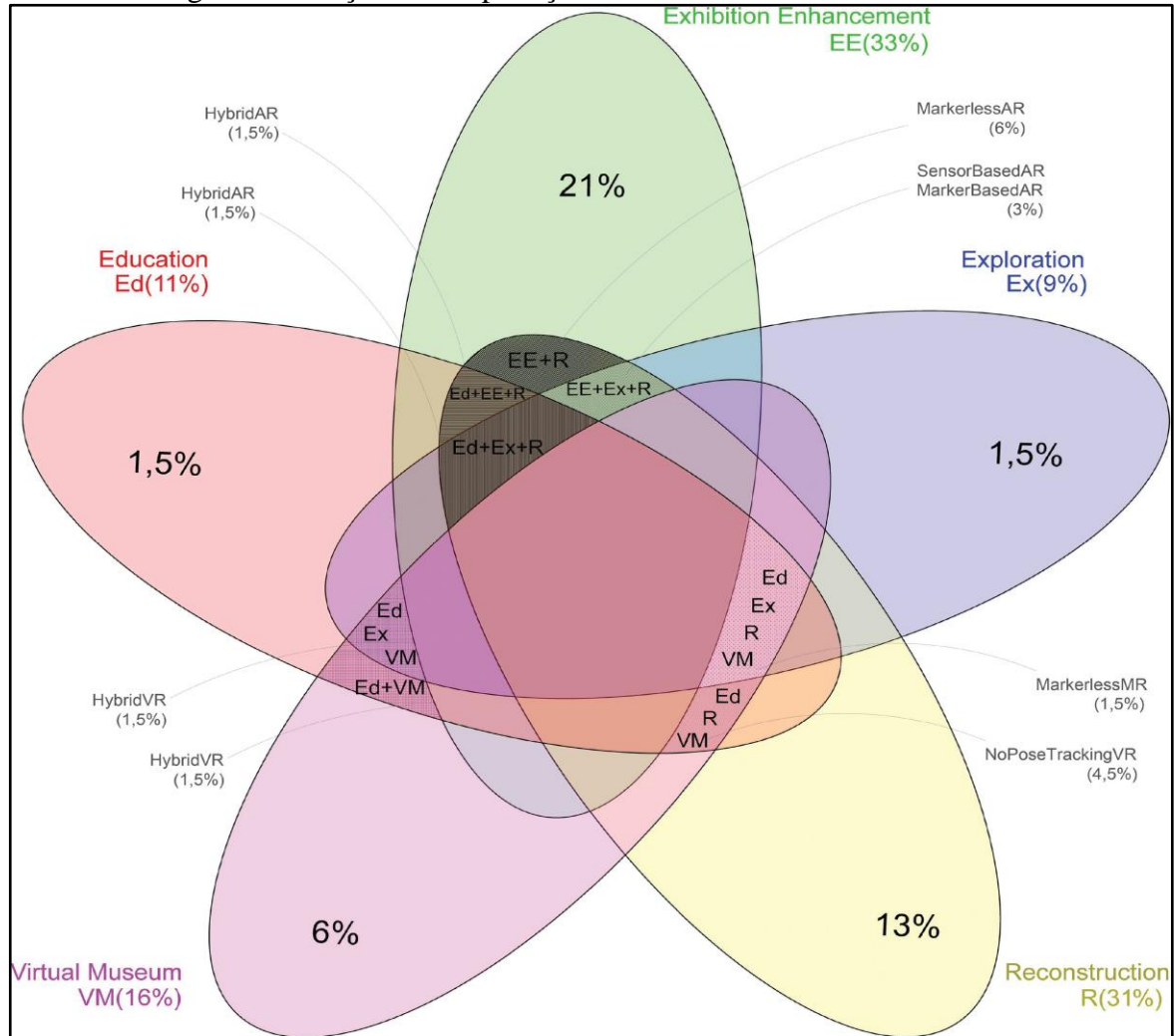


Fonte: Bekele *et al.* (2020, p.23)

Para Salanitri, Lawson e Waterfield (2020), a tecnologia de realidade virtual ainda está em desenvolvimento e tende, nos primeiros contatos, causar cinetose nos usuários. A cinetose é o efeito colateral que o usuário passa por acreditar que realiza movimentos bruscos, por alguma situação de risco ou sensação de perda de apoio. Isso pode acarretar enjoos, quedas, sustos, entre outros. A cinetose tende a diminuir conforme a repetição do uso dos óculos de realidade virtual, (LAWSON *et al.*, 2016).

A cinetose não ocorre apenas no uso dos óculos de realidade virtual. Toda situação que causa perda de apoio ao corpo humano pode gerar essa sensação. Segundo Para Park *et al.* (2017), a pessoa que sofre de cinetose no mundo real, causada por viagens de barco, avião ou altura, pode ser curada com o auxílio da realidade virtual simulando o mesmo cenário.

Figura 5: Relação entre aplicações da realidade virtual e aumentada



Fonte: Bekele *et al.* (2020, p. 18)

A Figura 5 traz o percentual de cada aplicação da realidade virtual e da realidade aumentada. Trata-se do diagrama de Venn que apresenta a interação entre as aplicações, por exemplo: educação corresponde em 11%, museu virtual 16% e exploração 9%. São formas de classificar o uso da realidade virtual e aumentada e enxergar a correlação entre elas.

Para Salanitri, Lawson e Waterfield (2020), os equipamentos, utilizados para realizar a imersão em realidade virtual de alta qualidade, ainda estão muito caros e inacessíveis para muitos gamers e empresas. Conforme o desenvolvimento de novas tecnologias e

empregabilidade das ferramentas, a tendência é que esses equipamentos fiquem mais baratos, o que tornará a realidade virtual mais utilizada.

Schnack *et al.* (2019), explicam que embora a maioria das aplicações em realidade virtual sejam voltadas para videogames e turismo, essa tecnologia tem sido perseguida também pela aplicação no controle de qualidade (considerar as especificações do produto sobrepostas nas imagens do produto, disponíveis nos inspetores de qualidade), manutenção (substituir o diagrama de circuito é sobreposta à imagem do próprio circuito sendo reparado pelo técnico), montagem (as instruções de montagem são sobrepostas à imagem do produto a ser montado, que pode ser acessado nos óculos inteligentes da montadora), e retirada do depósito (o pedido é separado conforme as instruções de separação, incluindo a localização do item, e sobreposto na imagem da prateleira vista pelo funcionário).

Conforme o tipo de óculos de realidade virtual que o usuário utiliza, é necessário conhecimento nas configurações de streaming. Conforme Meibner *et al.* (2019), streaming é uma maneira para a realização do fluxo de dados multimídia pela conexão sem fio por demanda, sem a necessidade de download. O recurso streaming conecta um dispositivo a outro sem necessariamente conectar cabos, além de possibilitar a interações com periféricos. Uma aplicação bastante utilizada hoje é o compartilhamento mídias locadas em um servidor que são reproduzidas em computadores, tablets e em celulares. Como a conexão é sem fio, um jogo ou vídeo podem ser vistos remotamente. Quando a realidade virtual é utilizada via streaming o tráfego de dados é um ponto crítico porque além de exigir computadores e equipamentos potentes, necessita de maior velocidade no tráfego de dados (MEIBNER *et al.*, 2019).

A resolução da imagem tem relação com a quantidade de pixels, quanto mais pixels, maior a resolução. A imagem com resolução baixa normalmente fica desfocada ou não nítida. Para Wang, Armstrong e Mostaghimi (2020), a baixa resolução da imagem afeta diretamente a visualização e compreensão das informações contidas em modelos 3D, quando navegada por meio da realidade virtual. O cenário fica ilegível e os detalhes de texturas são comprometidos de forma que a absorção do conhecimento também seja dificultada. A resolução ideal para cenários de realidade virtual é de $1920 \times 1080p$ (WANG, ARMSTRONG e MOSTAGHIMI, 2020).

A realidade virtual quando aplicada no aprendizado é caracterizada como ferramenta ativa de ensino. Ocorre quando o estudante ou funcionário de uma empresa interage ativamente com a matéria estudada e utiliza seus sentidos. Isso difere do usual que os alunos apenas recebem o conteúdo passivamente pelo professor. A transferência de conteúdo

por meio da realidade virtual tende a melhorar a fixação do conteúdo, pois o cenário criado transmite uma sensação de contado real como, por exemplo: o tamanho real de uma casa. Essa tecnologia é aplicada hoje em dia por instituições de ensino para apresentar aos alunos aquilo que se via em vídeos ou imagens, todavia de tamanho real e com os mesmos movimentos (THAWAN *et al.*, 2018).

Segundo Thawan (2018), o sujeito com medo de altura e que for submetido a ela por meio da realidade virtual gradualmente irá se acostumar no mundo virtual, e isso também acontecerá no mundo real. A parte sensitiva de uma pessoa, principalmente relacionada aos medos, são pouco a pouco corrigidas pelo desafio do contato direto com o que estimula a sensação. Por esse motivo algumas pessoas desistem do uso da realidade virtual por motivo da sensação ruim dos primeiros contatos.

As principais áreas de aplicação da realidade virtual são: jogos, comunicação, simulação, apresentação remota. No entanto, com base nas necessidades humana e desenvolvimento tecnológico, novas aplicações surgem nas áreas da ciência, o que muda a forma de interação com o computador, especialmente em sistemas complexos (SLATER e SANCHES-VIVES, 2016). A Empresa Brasileira de Aeronáutica S/A (Embraer), apresentou em 2020 seu centro de realidade virtual que terá como finalidade a criação de aviões, treinamento de pilotos e testes de aerodinâmica. Segundo a fabricante de aeronaves a iniciativa visa equiparar a empresa com as maiores do mundo no ramo e reduzir os custos, já que os projetos serão feitos primeiro em formato 3D e não com maquetes, ou reais (CARRUTH, 2017).

Os arquitetos agora têm a possibilidade de usar microcomputadores e programas de desenvolvimento de ambiente virtual para elaborar os projetos e apresentar aos clientes de forma imersiva. Por exemplo, ao desenhar um projeto de escritório, é possível observar o ambiente de diferentes ângulos, mesmo antes de a primeira parede ser levantada. Isso proporciona aos usuários percorrer os móveis e ver detalhes da construção (SALANITRI, LAWSON e WATERFIELD, 2020).

A arquitetura não é a única beneficiária de novos recursos virtuais. A medicina também acompanha o desenvolvimento dessa tecnologia. Alunos dos cursos de medicina realizam a prática de cirurgias em ambientes orientados para o uso da realidade virtual (CARRUTH, 2017). No National Rehabilitation Hospital em Washington, EUA, a realidade virtual é usada como uma ferramenta de tratamento para a reabilitação de pacientes e avaliação neuropsicológica (CARRUTH, 2017). A cirurgia laparoscópica pode eliminar cicatrizes profundas no pós-operatório, mas é uma habilidade difícil de dominar. Para ajudar os médicos

a aprimorar seus conhecimentos profissionais, várias empresas estão desenvolvendo simuladores virtuais para laparoscopia (PARK *et al.*, 2017).

A simulação computacional gráfica permite que os pesquisadores entendam os resultados dos fenômenos por meio de gráficos e desenhos detalhados, o que não pode ser alcançado por outros métodos. A computação gráfica interativa pode controlar a forma como os gráficos são gerados em tempo real, o que é útil para melhorar a capacidade dos pesquisadores de explorar fenômenos por meio de computadores (BELEKE *et al.*, 2018). Dessa forma, o ambiente virtual pode interagir totalmente com a interface tridimensional para exibir e controlar gráficos interativos.

A empresa japonesa Fujita está aliando à tecnologia de realidade virtual à construção e controle de robôs. O objetivo é desenvolver um sistema de controle remoto que permita ao usuário manipular o robô por meio de display com interface gráfica (ARTEIRO *et al.*, 2019). Quando o local de trabalho é muito pequeno para os trabalhadores entrarem, são substituídos pelos robôs. Nesse estudo, o resultado da interação em realidade virtual controlava os robôs. Essa técnica é chamada de sensoramento remoto (ARTEIRO *et al.*, 2019).

Segundo Meibner *et al.* (2019), o software Trinus utilizado em conjunto com o computador para a navegação em realidade virtual trouxe avanços na cura de pacientes pós AVC. Nesse estudo o autor utilizou o celular para visualizar as imagens. Com o treinamento, os pacientes passam por situações que estimulam o equilíbrio. O uso da realidade virtual na medicina se expande devido as diversas aplicações possíveis. Considerando o exemplo da melhora do pós AVC, em pré ou pós-operatório, crianças poderiam acessar animações por meio da realidade virtual com a finalidade de diminuir os traumas possivelmente causados.

Ao utilizar software o Trinus em conjunto com o celular para navegar em cenários que diminuíssem a esqualo fobia, foi descoberto que o medo diminuía gradualmente. Esse temor fobia 8% de toda população mundial e ao utilizar a realidade virtual para inserir o usuário em um mar virtual com a presença de tubarões que não o atacam, a sensação de medo é diminuída no mundo real (MEIBNER *et al.*, 2019).

1.3 Gestão da rede de suprimentos - SCM

Supply Chain Management - SCM (Gestão da cadeia de suprimentos) é a execução das operações integradas das atividades logísticas de compras, transportes, armazenagem, manipulação de produtos e efetivação da entrega. Trata-se de um processo cujas atividades são administradas desde a compra da matéria-prima até a entrega ao consumidor, assim como a gestão de suas respectivas informações sistêmicas (BALLOU, 2006).

Ainda segundo Ballou (2006), a melhoria contínua dos serviços e a diminuição dos custos entregues aos consumidores estão ligadas a correta organização e cooperação entre os integrantes da cadeia. Cabe a gestão das atividades de compras, logística e produção a missão de gerir os terceiros envolvidos na cadeia para que as entregas estejam no prazo e com as demais características em conformidade.

Miliken é a maior fabricante de tecidos dos Estados Unidos e uma das primeiras empresas a adotar o conceito de *supply chain management* - SCM na década de 1980, (CAIADO *et al.*, 2021). Embora seja um conceito consolidado, seu uso ainda se restringe a um grupo de empresas mais avançadas, mas passa a ser alvo de pequenas e médias empresas que visam otimizar seus processos.

Para Ballou (2006), as empresas que conseguirem implementar as melhores práticas de cadeia de suprimentos tendem a se destacar em termos de redução de custos operacionais, aumento da produtividade dos ativos e redução dos tempos de ciclo. Geralmente, a Indústria 4.0 inclui o desenvolvimento e integração de informações inovadoras e tecnologia da informação. O principal objetivo da comunicação na indústria é promover a rede inteligente de produtos e equipamentos (BALLOU, 2006). Interações eficientes dos processos geram formas mais eficaz de criar produtos e serviços.

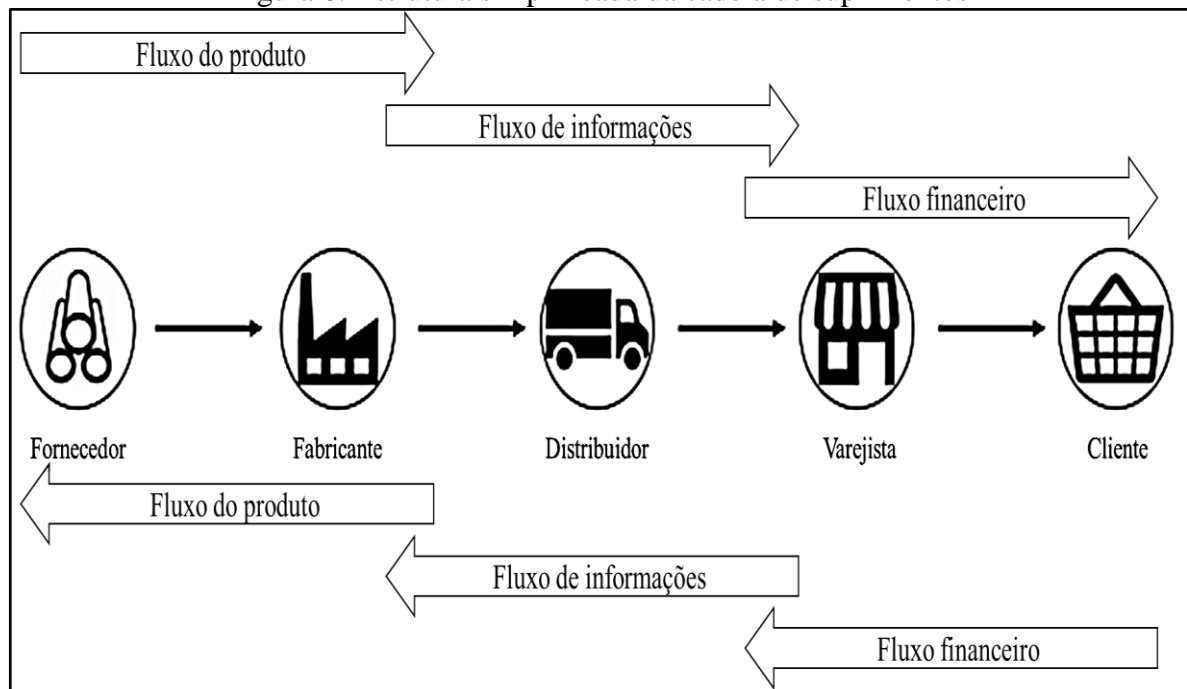
Para Wahab, Bahar e Radzi (2021), a gestão da cadeia de suprimentos está voltada para a cadeia como um todo e a logística integrada voltada para os processos dentro de uma única organização. Entre os diversos significados, a logística empresarial pode ser definida como o conjunto de procedimentos e meios para a correta entrega de produtos ou serviços de uma organização (WAHAB, BAHAR e RADZI, 2021). Com o aumento da pressão dos clientes por entregas em prazos cada vez mais curtos, surgiu a necessidade de integrar os processos. A integração é realizada por sistemas inteligentes que conectam as informações do produto ou serviço ao longo de toda cadeia de suprimentos (BRUZZONE, CAVALLARO e NOCERA, 2021). Outro ponto chave na busca pela satisfação do cliente é o retorno dos produtos caso algo não tenha ocorrido como esperado. Essa parte da logística é conhecida como logística reversa e impacta na imagem da empresa, pois também está atrelada ao nível de satisfação do cliente.

A logística reversa pode trabalhar com a devolução do produto ou a retirada de fragmentos do que foi entregue. Por exemplo, os sistemas inteligentes informam o centro logístico a volta do produto para que seu substituto seja disponibilizado (CAIADO *et al.*, 2021). Hoje em dia uma compra realizada “*online*” pode ser inserida em minutos na lista de prioridades de separação de um centro logístico localizado há centenas de quilômetros do comprador.

Produtos ou fluxo físico envolvem o movimento de mercadorias do fornecedor ao consumidor. O consumidor pode ser externo se for outra empresa ou consumidor final. Também pode ser interno se representar um processo posterior da mesma empresa. Geralmente, em uma cadeia de suprimentos, materiais e mercadorias fluem a jusante do fornecedor ao consumidor (FERRARI, 2020). Também pode haver um reverso fluxo de produtos, principalmente associado a rejeições ou devoluções de mercadorias. Por outro lado, o fluxo de informações permite que os diversos assuntos que compõem a cadeia de suprimentos para coordenar seus planos de longo prazo e monitorar os fluxos diários de materiais dentro da rede (FERRARI, 2020). Os tipos de informações que fluem ao longo da cadeia de abastecimento são contas de materiais, dados do produto, descrições e preços, níveis de estoque, cliente e pedido informações, programação de entrega, informações de fornecedor e distribuidor, status de entrega, documentos comerciais, títulos de mercadorias, fluxo de caixa atual e informações financeiras, entre outros.

A gestão eficaz da cadeia de abastecimento pode levar a um fluxo de produto mais rápido dentro da rede. Isso também leva a um aumento no fluxo de caixa e na lucratividade. A gestão do fluxo de material pode reduzir o estoque caro, reduzindo assim o custo de compra. Além disso, uma cadeia de abastecimento eficaz pode ajudar a reduzir os custos de produção e evitar a escassez de materiais que afetam negativamente a fabricação produtos. Todos esses aspectos resultam em menores custos totais da cadeia de abastecimento e aument da margem de lucro, para que a empresa tenha uma vantagem competitiva no mercado (FERRARI, 2020). A Figura 6 apresenta uma estrutura simplificada da cadeia de suprimentos e sua a relação com o fluxo de produto, informações e financeiro.

Figura 6: Estrutura simplificada da cadeia de suprimentos



Fonte: adaptado de Ferrari (2020)

Outro elemento interessante da logística integrada é a estratégia por trás da programação e roteamento de veículos. Isso requer análise combinada da capacidade de carregamento, prazos, tempo para separar o material, entre outros (CAIADO *et al.*, 2020). O maior resultado da programação e roteirização eficiente é a satisfação do cliente.

As práticas logísticas sustentáveis internas e a colaboração externa dentro da cadeia têm impacto positivo no desempenho das operações. Os acordos de emissão de carbono realizado entre alguns países fazem com que as empresas reflitam e busquem reduzir os impactos de suas operações ao meio ambiente (BRUZZONE, CAVALLARO e NOCERA, 2021). Utilizar ferramentas de previsão contribuem para que os impactos sejam minimizados, uma vez que não ocorreriam mudanças operacionais sem passar por processos decisórios.

As decisões de *design* do armazém estão intimamente relacionadas a dificuldade ou facilidade de separação. Deve ser projetado antes da construção do armazém, porque tais decisões táticas podem ser muito caras ou mesmo impossíveis de serem alteradas após a instalação ser colocada em uso. Embora o planejamento e o controle tenham sido bastante estudados, ainda há uma falta de discussão sobre o *design* de *warehouse* (PASCU e NEACSU, 2021). A fim de avaliar um projeto de armazém específico, (PASCU e NEACSU (2021), definiu alguns padrões de desempenho relacionados ao *design*: investimento e custo operacional;

quantidade e flexibilidade de combinação de pedidos, lucro, capacidade de armazenamento, tempo de resposta e qualidade de atendimento do pedido.

A separação de pedidos representa a metade do custo de mão de obra no armazém, e o colaborador leva até 70% do tempo para se deslocar de um local para outro (DOMINGO GARLINDO, 2016). Investir, mesmo uma pequena melhoria no processo de separação, pode economizar dinheiro, tempo e os desgastes físicos pelo operador. Em se tratando do processo de recebimento e expedição é importante que a cadeia esteja com os processos alinhados para que exista a agilidade do fluxo. Por exemplo, se um caminhão for carregado de paletes pela lateral, pode ser que dificulte a retirada em outro integrante dentro da cadeia.

O Wal-Mart alcançou excelentes resultados em termos de crescimento e rentabilidade, principalmente pela alavancagem obtida com sua estrutura de relacionamento diferenciada na cadeia de suprimentos (CAIADO *et al.*, 2020). A Dell Computer é outra empresa capaz de responder quase imediatamente aos pedidos personalizados de seus clientes, reconfigurando sua cadeia de suprimentos.

Bruzzone, Cavallaro e Nocera (2021), determinaram que os principais benefícios da correta gestão da cadeia de suprimentos são a redução dos custos de estoque, transporte e armazenamento; serviços aprimorados por meio de entrega mais rápida e produção customizada e, maior disponibilidade e customização. As empresas analisadas que focaram na gestão eficiente da cadeia de suprimentos apresentaram ganhos expressivos, como o estoque que foi reduzido em 50%; a entrega dentro do prazo aumentou 40%; o tempo de entrega diminuiu 27%; a falta de estoque diminuiu 80% e a receita aumentou 17% (BRUZZONE, CAVALLARO e NOCERA, 2021).

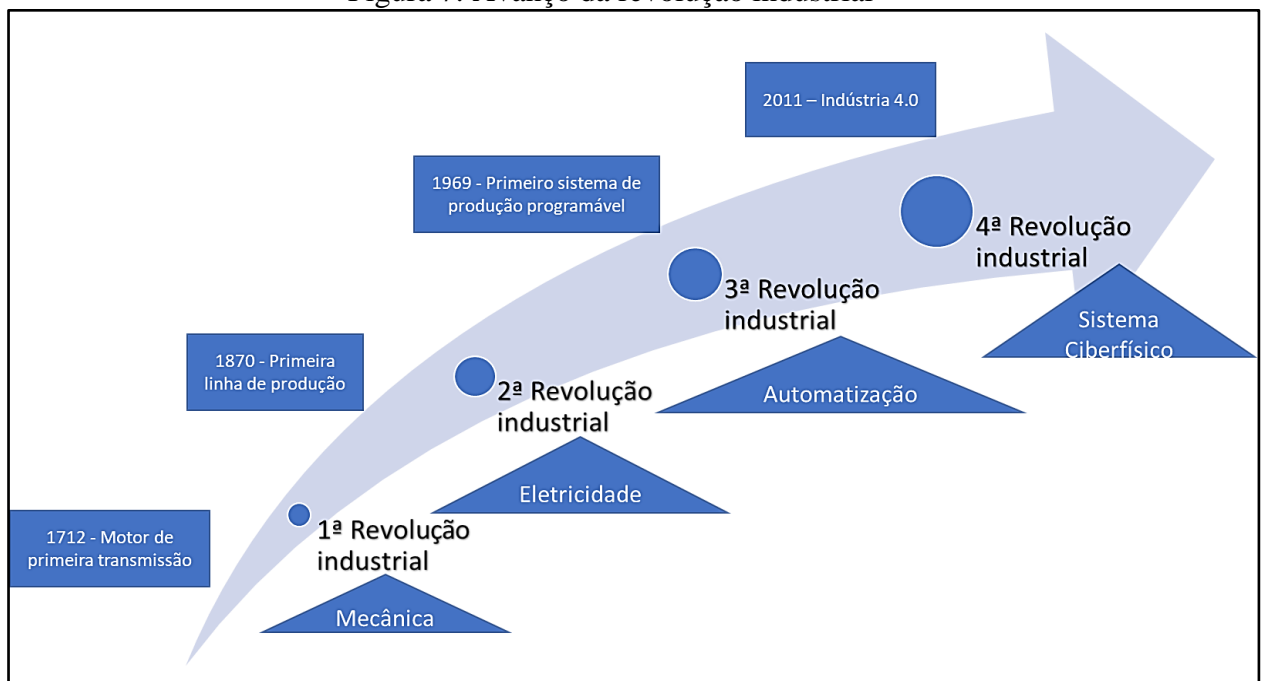
Entre os possíveis problemas que ocorrerem na cadeia de suprimentos e, consequente, na armazenagem, é o efeito chicote. Segundo Domingo Garlindo (2016), o efeito chicote com a alteração ou o não do alinhamento entre a oferta e a demanda resulta em expectativas que, quando não realizadas, influenciam principalmente nos níveis de estoque e produtividade. Isso resulta em confusão das estratégias e excesso ou falta de estoques de matéria-prima, ou produtos acabados para suprir a demanda.

Segundo Yavas e Ozkan-Ozen (2020), a competitividade logística faz com que as empresas invistam grandes quantias em tecnologia e contratação de profissionais qualificados. Tudo indica que o gestor, além das atividades comuns do cargo, necessitará ser aderente as ferramentas avançadas de programação e adequação rápida as novas tecnologias. Conforme

Giuliano e Kang (2018), a indústria 4.0 já demanda de mão de obra qualificada, mas a próxima geração da área requererá ainda mais qualidades dos profissionais. O profissional de logística tem que estar em constante estado de aprendizagem e quebra de paradigmas.

Para Domingo Garlindo (2016), a logística empresarial é subdividida em atividades de aquisição, movimentação, armazenagem e entrega. A logística acompanha os passos das revoluções industriais. Hoje a revolução industrial vive sua quarta fase que é caracterizada pela automação, dados em nuvens e inteligência virtual (PASCU e NEACSU, 2021). O avanço da primeira revolução até a quarta está ilustrado na Figura 7.

Figura 7: Avanço da revolução industrial



Fonte: Adaptado de Pascu e Neacsu (2021)

Para Bulturbayevich *et al.* (2020), o avanço da logística empresarial deve-se a grande concorrência entre os operadores logísticos que buscam a satisfação do cliente e a alavancagem das vendas. A movimentação de materiais foi submetida a inserção de equipamentos modernos que ficaram mais acessíveis conforme as novas tecnologias de fabricação.

O braço robô é um equipamento de movimentação que pode substituir operadores ao eliminar os momentos de ociosidade e desamino (PARK *et al.*, 2020). O rendimento do operador tende a diminuir quando está com fome, fadigado, desmotivado por questões pessoais ou por acreditar que não terá oportunidades na empresa que trabalha. O robô, por não possuir a

maioria das necessidades humanas trabalha interruptamente, parando apenas para a manutenção de rotina ou em sistemas que necessita de abastecimento de materiais.

Existem estudos que abordam a eficiência dos braços robôs logísticos sendo que, conforme Ziyadin *et al.* (2020), a utilização do braço robô em um setor de expedição trouxe 32% de ganho de produtividade em comparação com o operador. Os fabricantes dos robôs produzem soluções para diferentes tipos de aplicação. Para o manuseio de caixas, as empresas já podem contar com sistemas de ventosas que sugam a caixa que só será solta no local de destino.

Dentre as tecnologias consideradas diferenciais na logística está a utilização de esteiras que eliminam a necessidade de movimentação de material manual em espaços das operações. Também ganha destaque a utilização dos AVGs (Veículos autoguiados) que trafegam pela operação com materiais embarcados ou guiando reboques com materiais.

A RPA (Robotização de atividades repetidas) é uma variação de robô que faz atividades humanas automaticamente em *softwares*. O recurso gera a integração entre sistemas e que o operador humano foque em atividades que envolvam o raciocínio, deixando tarefas repetitivas para o robô. Conforme Gao *et al.* (2018), nos últimos anos o RPA é usado com mais frequência nas áreas de logística e operações devido à necessidade de automatizar os dados para agilizar a entrega ao consumidor final. Para Madleňák, Madleňáková e kolarovszká (2016), os principais benefícios do RPA na logística é o controle de produtos, agilidade nos processos, padronização, redução de custos, segurança e competitividade. He *et al.* (2017), completa a informação anterior com o aumento da produtividade, diminuição do quadro de funcionários e minimiza as falhas humanas mais comuns. A aplicação em gestão de inventários logísticos proporciona que o produto seja retirado de uma posição e o robô alocar automaticamente outro produto.

Segundo Park *et al.* (2020), o *pick-to-light* é uma técnica de separação que normalmente é utilizada em centros logísticos para indicar o local da separação dos pedidos de alta densidade com vários locais de separação. O sistema de captação óptica convencional armazena temporariamente os materiais a serem recolhidos no *rack*, prateleiras ou estações de trabalho onde os produtos são embalados em caixas, bolsas ou contêineres, dependendo da estrutura do próprio sistema. A característica do sistema de *pick-to-light* é a instalação de equipamentos de iluminação na posição de item que serve para orientar o operador na realização da operação de *picking*. Quando o sistema faz um pedido, o funcionário vai até a posição e faz a leitura do código de barras da local que conterà o pedido. As luzes nas prateleiras acenderão ao mesmo tempo, indicando os itens a serem retirados e suas respectivas quantidades.

Possivelmente os cargos mais baixos das atividades de armazenagem e separação serão substituídos por equipamentos automatizados e a robotização de processos computacionais (ZÁHUMENSKÁ e GAŠPARÍK 2017). As máquinas precisarão de manutenção e controle, necessitando de pessoas para isso. Entretanto as atividades repetitivas como a despalatização, carregamento de veículos, digitação de documentos tendem a ser extinguidas em grandes empresas.

Treinar os funcionários proporciona a manutenção da excelência operacional. Esses treinamentos são realizados por uma empresa terceirizada especializada ou por funcionários detentores dos conhecimentos mais atualizados na organização. Transferir conhecimento faz que com acidentes e erros técnicos sejam minimizados e o tempo de preparo do colaborador para realizar suas atividades seja menor (THOMAZ *et al.*, 2016). Além da questão técnica, treinamentos aumentam o comprometimento do colaborador por se sentir mais preparado e valorizado pela empresa.

Para Georgiadis e Pitelis (2016), embora as empresas optem por treinamentos específicos para agregar nas suas atividades, determinadas categorias de conhecimento estão detidas em empresas especializadas que, em muitos casos, vendem esses conhecimentos em formato de cursos como os vendedores de simuladores, por exemplo. A aquisição desse tipo de conhecimento para a equipe de determinada empresa, é considerado um diferencial competitivo (ZANG e YU, 2017).

Segundo Cheng e Bakake (2016), a falta de mão de obra qualificada justifica o investimento para treinar os funcionários. Pelo fato de a competitividade ser cada vez mais intensa, as empresas necessitam investir em inovação, estratégia e controle de processos. Para que um funcionário tenha a percepção do que a empresa precisa hoje e no futuro é necessário que ele tenha acesso a conhecimentos fundamentais sobre a organização, processos e ferramentas inovadoras. Conforme Urbancová (2018), treinar um funcionário se torna mais produtivo do que trazer alguém já qualificado do mercado, quando esse treinamento for de curto e médio prazo.

O custo para capacitar os colaboradores varia dependendo do conhecimento, disponibilidade do curso ou retorno financeiro que o curso proporcionará (CALOGHIROU *et al.*, 2018). O investimento em treinamento habilita o colaborador a realizar atividades que antes não seriam possíveis ou que não eram antes realizados com qualidade suficiente. Alguns treinamentos conseguem aumentar o faturamento ou diminuir os custos da empresa. Um exemplo disso seriam as consultorias que, conforme os conhecimentos de sua equipe, mostram

a melhor forma de executar uma atividade, logo o investimento do treinamento é compensado pela produtividade (ALHEJJI *et al.* 2016).

Outra forma de se beneficiar de treinamentos é quando eles possibilitam a inovação e a melhoria contínua. Para que um colaborador possa inovar é necessário que sejam inseridos conhecimentos que irão funcionar como matéria-prima para as reflexões. Ao combinar ideias recebidas com as já existentes algo pode ser recriado ou criado a partir do zero, (ZANG e YU, 2017). Os treinamentos internos além da obtenção de conhecimento, os colaboradores interagem em entre si, o que leva a formação de equipes mais produtivas, (CALDWELL, 2016).

Além dos funcionários, os gestores podem se aproveitar da reunião causada pelo evento para conhecer melhor a equipe e contribuir com sua experiência. Para Urbancová (2018), modelar as práticas dos colaboradores contribui para que eles sejam capazes de assimilar as rápidas mudanças que hoje em dia ocorrem nas operações.

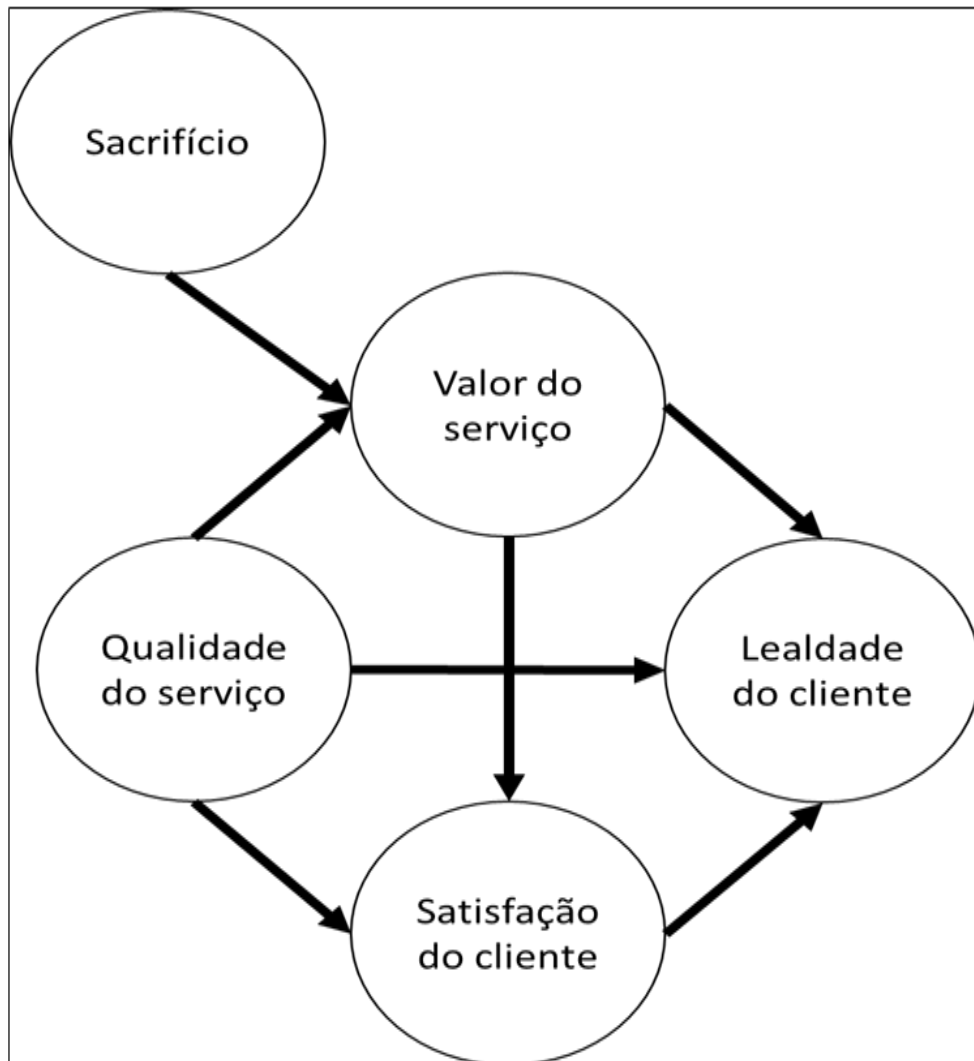
As estratégias que visam mostrar com clareza o valor do serviço e interferir positivamente na escolha do cliente é chamada de marketing de serviço (KRISTENSSON *et al.*, 2016). A empresa certamente perderá oportunidades de negócios pelo simples fato de não apresentar seus serviços ou produtos da forma correta. Essa forma correta caracteriza-se por apresentar o produto não somente do ponto de vista de otimização dos recursos ou desenvolvimento de processos, mas também mostrar o quanto de esforço foi gasto para que gere mais valor ao produto (BERGHALL, 2018).

Apresentações interativas dos serviços prestados, por exemplo, a construção 3D de um novo *layout* para o cliente, são mais interessantes pelo fato de despertar a curiosidade tanto para o produto, quando para a tecnologia empregada. Para Farida, Aryoso e Yuniawan (2017), quando um cliente recebe tratamento que considera superior ao que está sendo praticado, sente-se valorizado ao ponto de isso influenciar positivamente na negociação. Assim como um prato bonito servido no restaurante, a entrega de um projeto com qualidade também provoca os sentidos do cliente e em alguns casos é decisivo na negociação. Para XU *et al.* (2017), os clientes que tiveram boa experiência com o fornecedor a preço justo pensam em negociar com o mesmo fornecedor quando precisarem do mesmo produto, mas se com o preço não houver bom atendimento e entrega o comprador poderá optar por outro fornecedor.

O conjunto de técnicas que satisfazem o cliente com o intuito de novas negociações chama-se fidelização. O conceito de fidelização do cliente pretende fixar a imagem da empresa na memória do cliente para que seja a primeira opção em uma futura compra.

Segundo Triatmanto, Nirwanto e Razak (2016), o serviço de qualidade é o fator principal para a fidelização do cliente, entretanto o valor do serviço e a satisfação proporcionada também influenciam as próximas compras. A Figura 8 ilustra os pontos que criam a fidelização do cliente. São os caminhos do desenvolvimento e entrega do que foi oferecido.

Figura 8: Fluxo simplificado de fidelização do cliente



Fonte: adaptado de Triatmanto, Nirwanto e Razak (2016)

Para Kahn (2017), a vaidade humana que influencia uma comprar também está presente em negociações empresariais. Algumas empresas fecham grandes contratos não apenas pelos serviços ou produtos procurados, mas também pela imagem que o fornecedor possui no mercado ou a forma de apresentação (APRILE; CAPUTO; NAYGA JR, 2016).

Em se tratando de mudanças operacionais, as empresas normalmente apresentam suas ideias e produtos por meio de *slides* e planilhas, mas nem sempre mostram de forma clara como seriam as implantações. Para Thieme (2017), 90% das informações que a pessoa obtém sobre algo é coletada por meio da visão. Ferramentas tecnológicas, como os simuladores 3D, criam cenários que ilustram como seria uma alteração de *layout* ou produtividade, contribuindo para a tomada de decisão. As figuras em 3D se assemelham ao que as pessoas veem no mundo real, facilitando a fixação das informações e entendimento de ideias mais complexas.

Hult e Ketchen (2017), definem que uma vez que os 7ps do *marketing* de produtos são: produto, preço, praça, promoção, processos, pessoas e palpabilidade; a palpabilidade evidencia a importância do contato do cliente com o produto que nem sempre é possível realizar fisicamente. Ferramentas artificiais podem ter efeito muito próximo de que o contato visual real, sendo uma forma economia para este fim.

A apresentação de um projeto ao cliente é um processo cuidadoso que para ser bem executado exige planejamento e foco. Para Xu, Frankwick e Ramirez (2016), utilizar a criatividade torna-se um diferencial competitivo principalmente se a ferramenta utilizada for inovadora e disruptiva. Ao citar o termo criatividade o autor mostra que, mesmo que existe ferramentas inovadoras para a criação e apresentação, ainda assim é necessário o uso criativo para trazer resultados inéditos.

Para De Veirman, Cauberghe e Hudders (2017), se um projeto for bem desenvolvido e se sua entrega não for também excelente, será percebido pelo cliente como falta de comprometimento e profissionalismo. Ao contrário da entrega ótima, entregas realizadas fora do prazo ou que não chamam a atenção são desastrosas para os negócios. A concepção de valor também pode ser inversa e os frutos proporcionais aos esforços no momento da apresentação.

2 METODOLOGIA

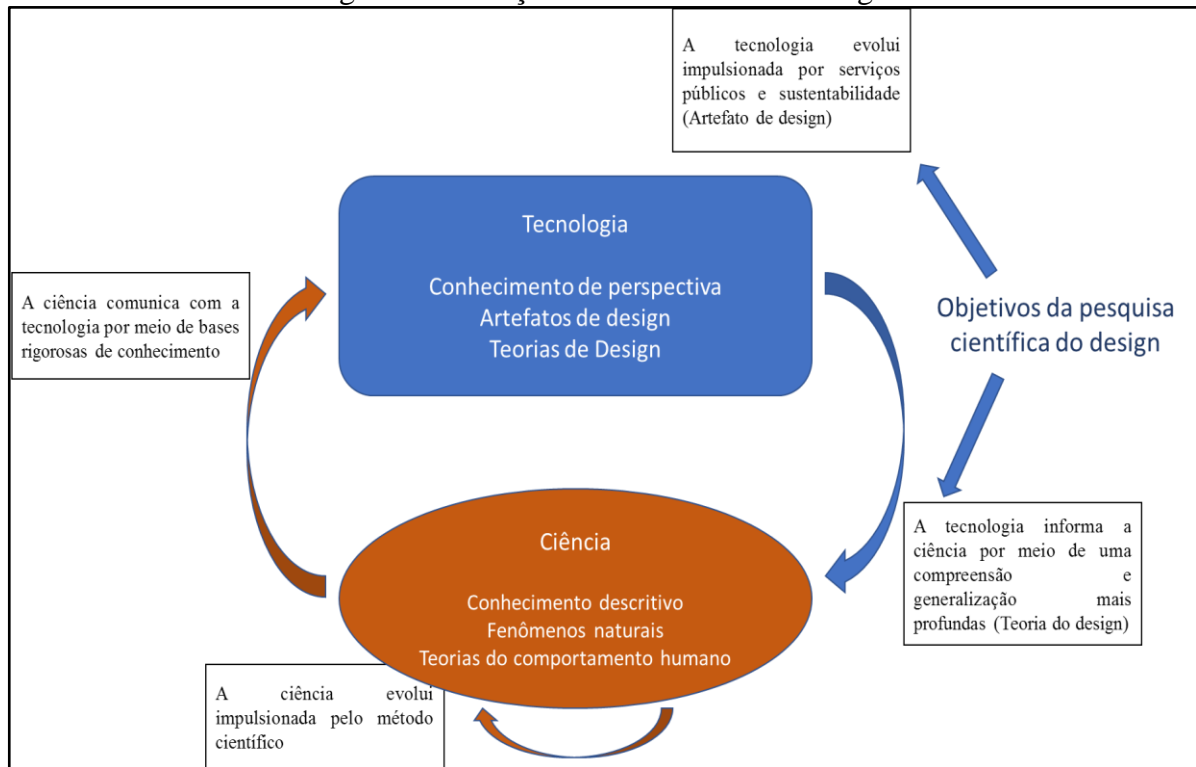
Esse estudo iniciou-se pela revisão da literatura, que foi crucial na compreensão dos conceitos base. A revisão da literatura também contribuiu para a clareza do problema de pesquisa. Após os conceitos serem levantados, foi classificado o método de pesquisa *design science* para o desenvolvimento do objetivo geral, ou seja, a navegação em realidade virtual e o método simulação para a correta criação das simulações. Segundo Ryu (2020), as metodologias utilizadas pelo pesquisador influenciam na credibilidade do estudo, pois garante a validação dos experimentos. A metodologia é o esclarecimento detalhado, rígido e exato das ações desenvolvidas no caminho da pesquisa (RYU, 2020).

2.1 Método *design science* na aplicação da realidade virtual

O DSR é um método de pesquisa que além de promover o debate e a verificação das etapas e resultados, apoia o pesquisador em busca de respostas para o problema de pesquisa inicial, (BAX, 2017). Para Lewandowsky *et al.* (2016), os debates originados por oposição ou concordância entre estudos fazem com que sejam acrescentadas novas oportunidades de desenvolvimento. As simulações foram utilizadas para a navegação em realidade virtual cujos dados de entrada e resultados são de possível verificação. Sendo assim, o método de pesquisa adotado é o Design Science Research (DSR), pois devido ao cumprimento de seu protocolo, foi possível a correta criação dos artefatos e sua possibilidade de verificação (NGULUBE, 2020).

Para BASKERVILLE *et al.* (2018), a evolução da interação entre ciência e a tecnologia se dá pela evolução do conhecimento descritivo e do conhecimento prescritivo. A Figura 9 ilustra o desenvolvimento da interação entre atividades da ciência e da tecnologia. Enquanto a ciência visa o crescimento do conhecimento descritivo e do comportamento humano pela aplicação do método científico, a tecnologia objetiva o aumento do conhecimento prescritivo com artefatos projetados para melhorar as competências físicas e mentais humanas. O método DSR transmite para a ciência os avanços tecnológicos após a compreensão profunda. A ciência por sua vez, reproduz de forma ampliada o conhecimento evoluindo à tecnologia.

Figura 9: Evolução da ciência e da tecnologia



Fonte: Adaptado de Baskerville *et al.* (2018)

Para Hevner e Chatterjee (2010), a confiabilidade do método DSR é originada pelo rigor de seu protocolo que garante a veracidade dos experimentos executados. O Quadro 1 detalha um dos protocolos que podem ser usados para a correta execução do método.

Quadro 1: Protocolo Design Science Research

Orientação	Descrição
Orientação 1: Design como um artefato	O método Design Science Research produz um produto, um padrão, um caminho ou solicitação.
Orientação 2: Relevância do problema	O objetivo da Design Science Research é desenvolver soluções fundamentadas na tecnologia. Visa a resolução de problemas importantes e relevantes para as áreas produtivas.
Orientação 3: Avaliação do design	Os métodos de avaliação garantem a veracidade do estudo realizado.

Fonte: Hevner e Chatterjee (2010)

Quadro 1: Protocolo Design Science Research (cont.)

Orientação	Descrição
Orientação 4: Contribuições da pesquisa	A correta aplicação do método garante contribuições precisas e constatáveis dentro de sua área.
Orientação 5: Rigor de pesquisa	A rigorosa aplicação do método é o que garante a confiabilidade do estudo.
Orientação 6: Design como processo de busca	Os meios disponíveis no ambiente do método, quando usado para a solução do problema, gera artefatos efetivos.
Orientação 7: Comunicação de pesquisa	O produto da pesquisa deve ser desenvolvido e apresentado considerando os públicos de tecnologia e gestão.

Fonte: Adaptado de Hevner e Chatterjee (2010)

De acordo com o cumprimento do protocolo, a busca pelo artefato foi iniciada pela definição e desenvolvimento dele. Trata-se da navegação no simulador de eventos discretos 3D por meio dos óculos de realidade virtual de baixo custo. Somando o conhecimento profissional do autor com a revisão da literatura, encontrou-se a lacuna na aplicação da realidade virtual.

A realidade virtual não é largamente aplicada em pequenas e médias organizações devido ao alto custo (HINSCH; CHRIS; RAUSCHNABEL, 2020). O custo dos óculos de realidade virtual influenciou o desenvolvimento do artefato, assim como contribuir para a melhor visualização e absorção dos dados nos modelos de simulação.

O estudo foi desenvolvido de forma que fosse possível a replicação das simulações e do uso dos óculos de realidade virtual, o que é uma outra exigência do método. Além da questão do custo inferior, o artefato gerado traz a viabilidade da ferramenta para organizações e pesquisadores independentes. A melhor visualização e percepção dos dados das simulações também são pontos importantes proporcionados pela realidade virtual.

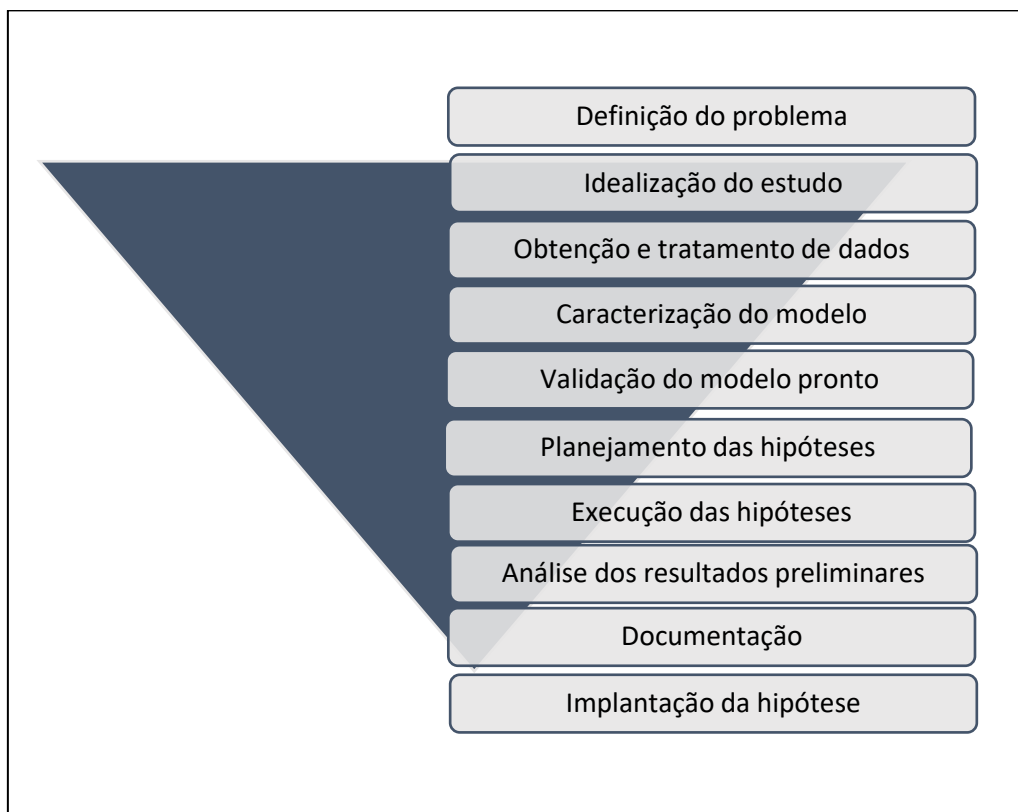
Após a definição do artefato, as simulações foram criadas no simulador 3D. Nessa etapa foi descrito o método da simulação. Com os modelos devidamente criados, os óculos de realidade virtual foram conectados no computador e o *software*, que faz a interação entre os

dois, foi configurado. A análise das simulações foi feita pela realidade virtual. O autor fez o experimento e comparou a simulação das operações reais e a visualização comum no simulador com a realidade virtual. O produto gerado foi desenvolvido e disponibilizado para o público de tecnologia e gestão.

2.2 Método simulação na criação das simulações

A simulação computacional também foi agregada à pesquisa, pois por meio dos cenários 3D criados no simulador a navegação e realidade virtual foram possíveis. Assim, uniu-se a necessidade de criar os modelos 3D para a navegação em VR com a busca por otimização de cenários logísticos. Os três modelos criados no simulador 3D utilizaram *layouts*, tempos de processamento, como também dimensões, quantidade e capacidade dos equipamentos, extraídos do banco de dados do autor, fornecidos pelas empresas nas quais colaborou. Cabe enfatizar que os dados presentes nessa pesquisa não expõem nenhuma organização ou seus clientes.

Figura 10: Proposta de protocolo para a aplicação da simulação



Fonte: adaptado de Law e Kelton (2000)

Existem muitos protocolos usados para a correta aplicação da simulação. Para Law e Kelton (2000), a simulação tem etapas importantes que devem ser consideradas antes e depois da construção do modelo, conforme a Figura 10.

A simulação deve ser baseada inicialmente em um problema a ser resolvido. Caso contrário, o analista desperdiçará esforços na construção e interpretação de modelos não pertinentes. A etapa de validação do modelo garante que a simulação tenha as mesmas características do que foi recriado, o que possibilita o confronto entre os dois resultados. E como última etapa, após todas as verificações necessárias, implantar aquilo que deu certo no simulador sucessivamente no sistema real.

Os cenários criados no simulador 3D foram baseados em experiências profissionais do autor. São processos logísticos que abordaram a implantação do sistema de armazenagem *miniload*, implantação do braço robô no abastecimento de linha e a conversão de um *layout* 2D em *layout* 3D. Os dados inseridos fazem parte do próprio acervo do autor. O simulador utilizado é o Flexsim, e sua escolha foi baseada na facilidade de criação, trabalho com objetos 3D e o módulo de realidade virtual. Os passos para a criação dos modelos no simulador estão apresentados no tópico apêndice A, B e no fim deste estudo.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

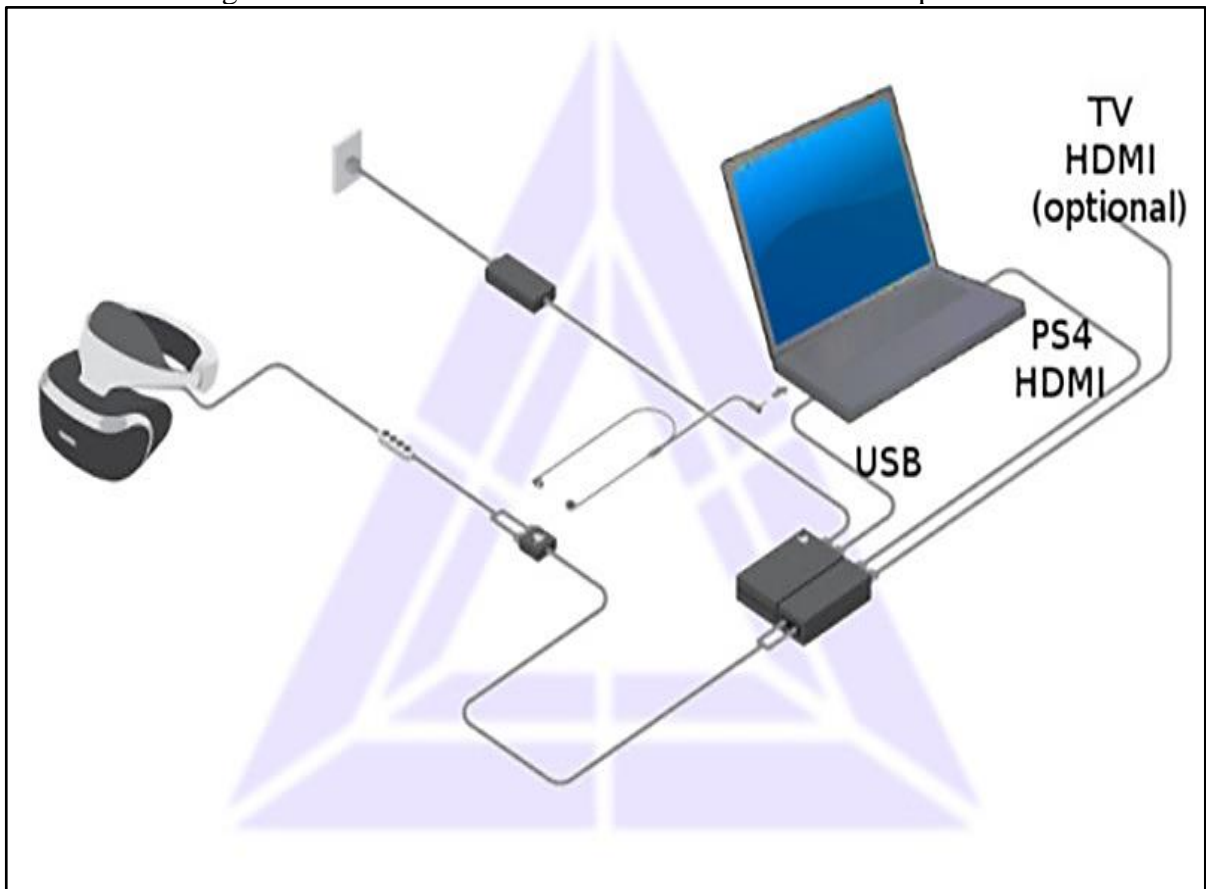
Aqui serão exibidas as considerações sobre a configuração dos softwares para o uso da realidade virtual, assim como resultado da imersão por meio dos óculos de realidade virtual nas simulações 3D. Também serão apresentados os resultados correspondentes às simulações. Os passos seguidos para a configuração dos *softwares* e dos óculos são explicados com a ajuda de imagens, para que o estudo tenha acessibilidade para gestores não habituados à pesquisa acadêmica ou pesquisadores experientes.

3.1 Roteiro de configuração do *software* Trinus para o uso dos óculos de realidade virtual

O software Trinus visa substituir os óculos de realidade de maior custo por opções mais acessíveis. Com ele, é possível utilizar óculos alternativos ou até mesmo um *smartfone*. O programa foi desenvolvido para aqueles que jogam games e não podem arcar com os custos dos óculos próprios de realidade virtual. Ao utilizar o Trinus em conjunto com os óculos de realidade virtual ou celular, é possível navegar em um ambiente emulado que não seja em VR ou em um já criado para essa finalidade. O provedor do *software* esclarece que está em desenvolvimento e que podem surgir travamentos em sua utilização. O programa é pago, mas possui a versão de testes que funciona por dez minutos gratuitamente antes de encerrar. O preço do programa é de R\$39,00 para o uso em celulares e R\$ 69,00 para os óculos PSVR. Ilustrar as etapas de configuração do Trinus traz acessibilidade ao estudo tanto para pesquisadores iniciantes, quanto para os mais experientes que desejam refazer as etapas aqui descritas. A versão do Trinus usada é a 1.0.7. O uso desse software é fundamental para a adaptação dos óculos PSVR no computador.

Os óculos da Playstation são categorizados como *headset* e são próprios para a navegação em realidade virtual. Hoje é unanimemente utilizado para games do PS4. O *headset* é acompanhado de um módulo que tem saídas HDMI e USB que são conectadas no computador. Nesse mesmo módulo também é possível compartilhar a imagem do usuário com outras pessoas por meio de uma televisão ou projetor *data show*. O primeiro passo para a navegação em VR é ligar os cabos do módulo do PSVR no computador. A Figura 11 ilustra o procedimento correto.

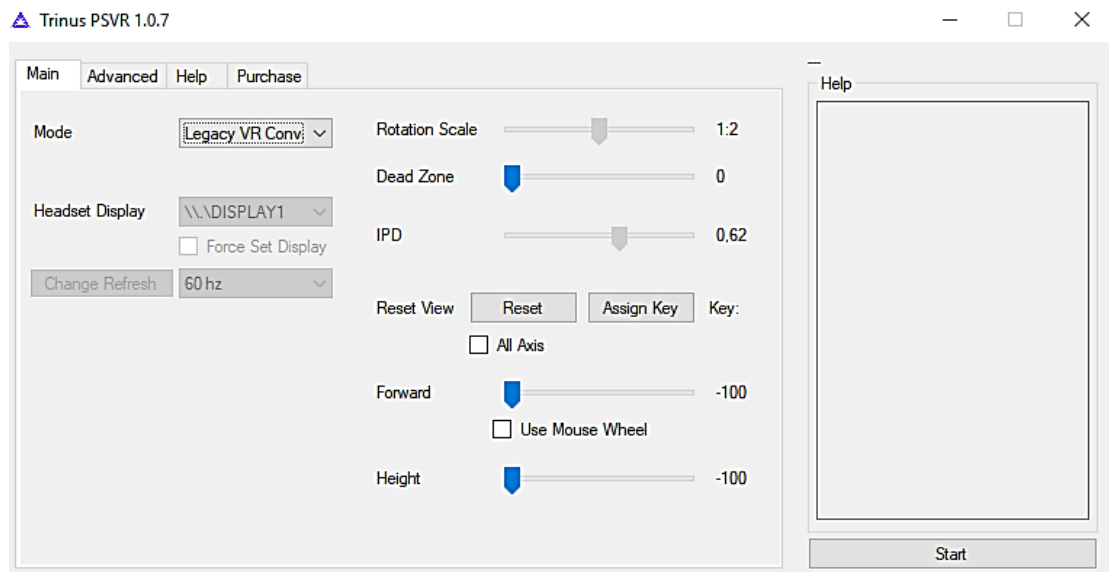
Figura 11: Conexão dos cabos dos óculos PSVR no computador



Fonte: adaptado da tela do Trinus

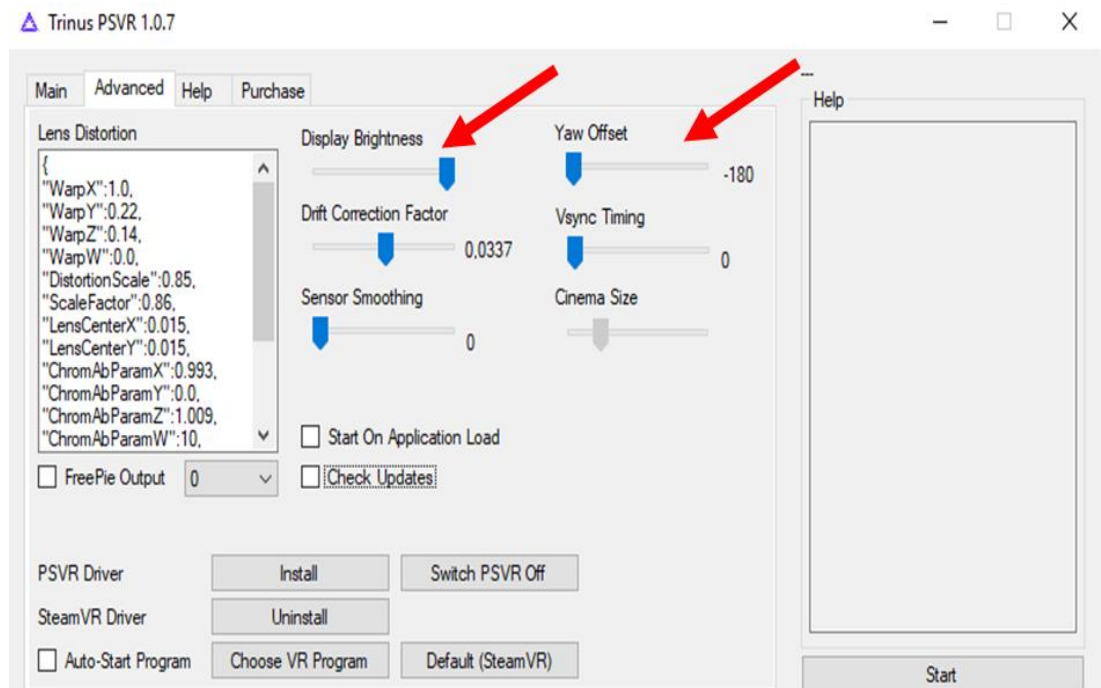
Para utilizar o Trinus é necessário o espelhamento de lente com a resolução de 1920x1080. Para isso, deve-se direcionar da seguinte forma: Painel de controle do Windows, aparência e personalização, ajustar resolução de tela, selecionar o PSVR (que já deve estar ligado e conectado ao computador) e escolher a resolução 1920x1080. Para Wang, Armstrong e Mostaghimi (2020), ao trabalhar com imagens, a resolução deve permanecer a mais alta possível, pois quanto maior for a resolução, melhor a qualidade da imagem e clareza dos detalhes, principalmente em ambientes criados para realidade virtual.

Após essa etapa e com o PSVR ligado, inicia-se a configuração do Trinus. Na aba *main* o modo *Legacy VR conversion* é selecionado e as demais configurações seguem conforme a Figura 12.

Figura 12: Configuração da aba *main* no Trinus

Fonte: Tela do Trinus

Na aba *advanced* é onde se ajusta o brilho do *display* em 100% e a função *yaw offset* em -180. As demais configurações não serão alteradas. Ajustes apresentados na Figura 13.

Figura 13: Configuração da aba *advanced* no Trinus

Fonte: Tela do Trinus

Depois da correta conexão dos cabos e configuração do Trinus é possível selecionar *start* na aba *main*. Nesse momento, o *headset* PSVR deve estar apontado para a tela do computador a uma distância de 30 cm paralelo ao solo horizontalmente. Com isso, a tela do computador já será reproduzida nas lentes dos óculos.

O *software* Trinus é simples de ser configurado. Sua versão gratuita dá ao usuário 20 minutos de uso antes de encerrá-lo. Atualmente, o custo de aquisição da licença é de R\$ 150,00. O próprio desenvolvedor destaca que é um programa em desenvolvimento que pode gerar travamentos, entretanto não ocorreu durante o experimento. O desempenho do *software* é satisfatório nas suas funções descritas, pois se não fosse utilizado, obrigaria o usuário a comprar óculos específico de realidade virtual, que pode custar 200% do valor dos óculos PSVR. O Trinus possui diversas configurações como o ajuste de brilho, calibração automática dos sensores dos óculos, e, também abre a possibilidade de uso de outros periféricos associados aos óculos.

Na literatura não foi encontrado nenhum estudo sobre a combinação do PSVR, Trinus e o simulador Flexsim. Logo, se trata de um experimento inédito que abre possibilidades para novas pesquisas. Quando usado no computador, a qualidade da imagem vista nos óculos é inferior em relação ao uso dele no videogame, mas nada que possa ser considerado inadequado. Devido ao fato de o PSVR ser usado para games, torna-o mais acessível do que os outros óculos próprios para computador, o que viabiliza a iniciação da realidade virtual, principalmente em pequenas empresas que não possuem recursos para investir em tecnologia. A unidade de processamento que intermedia os óculos e o computador ajuda no processamento gráfico e deixa os óculos mais leves.

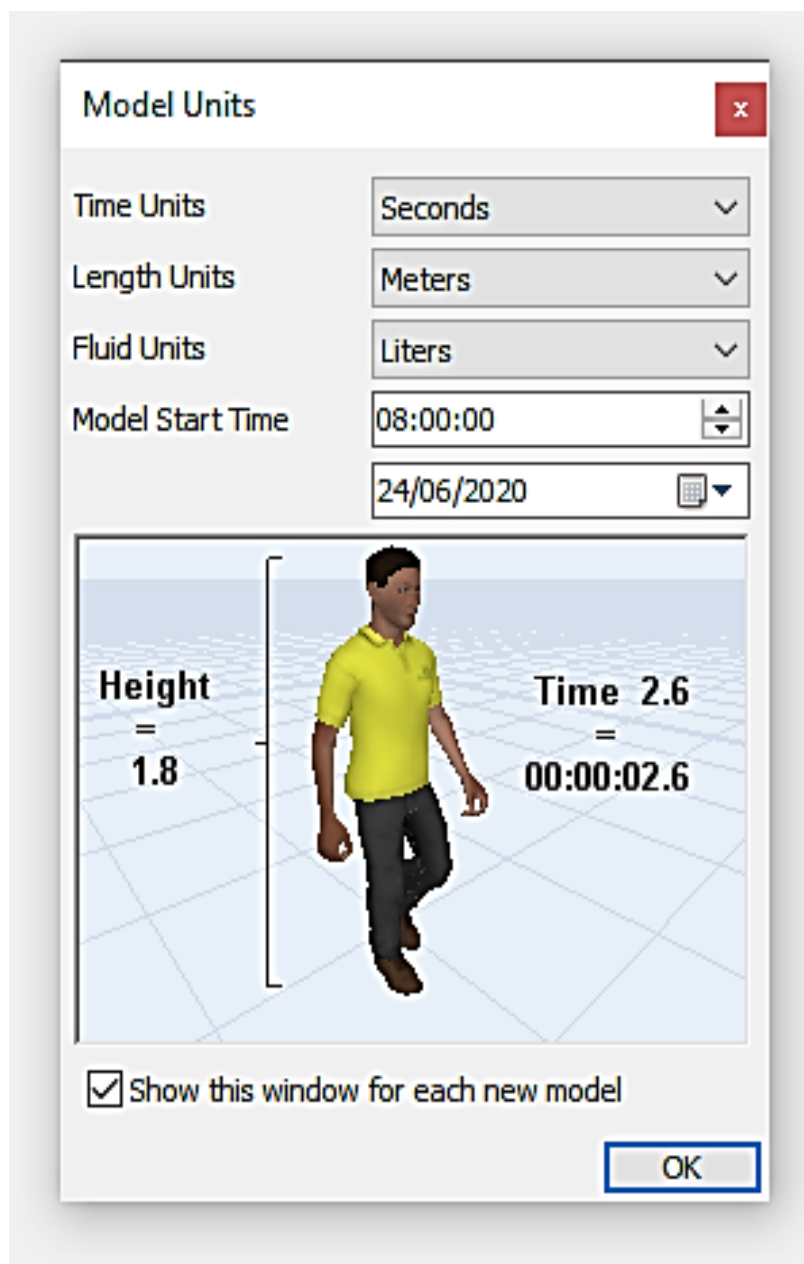
3.2 Roteiro de configuração das principais ferramentas do simulador 3D Flexsim

O Flexsim é um dos simuladores mais utilizados atualmente, proporcionando a criação diretamente em 3D de forma intuitiva. A escolha por utilizar esse software ocorreu após a comparação com os simuladores Arena, Promodel e Anylogic. Além dessa pesquisa criar e realizar análises sobre as otimizações, também visa o uso da realidade virtual, o módulo de realidade virtual exclusivo e a facilidade em criar o cenário 3D. Os objetos são inseridos na área de trabalho ao arrastar como fluxogramas e cada objeto pode ser configurado individualmente nas opções. O simulador tem maior aderência para simulação de eventos discretos e baseados por agentes. A versão utilizada neste estudo foi a 19.2.3. O foco nesse estudo não foi o

aprofundamento nos recursos do simulador. Sendo assim, serão apresentadas as principais configurações que foram utilizadas na criação dos modelos.

Assim que o simulador é iniciado, abre automaticamente a janela de configurações de distância, tempo e fluidos. O usuário que configura conforme sua necessidade. Entretanto, as unidades padrão são segundo, metro e litros conforme a figura 14.

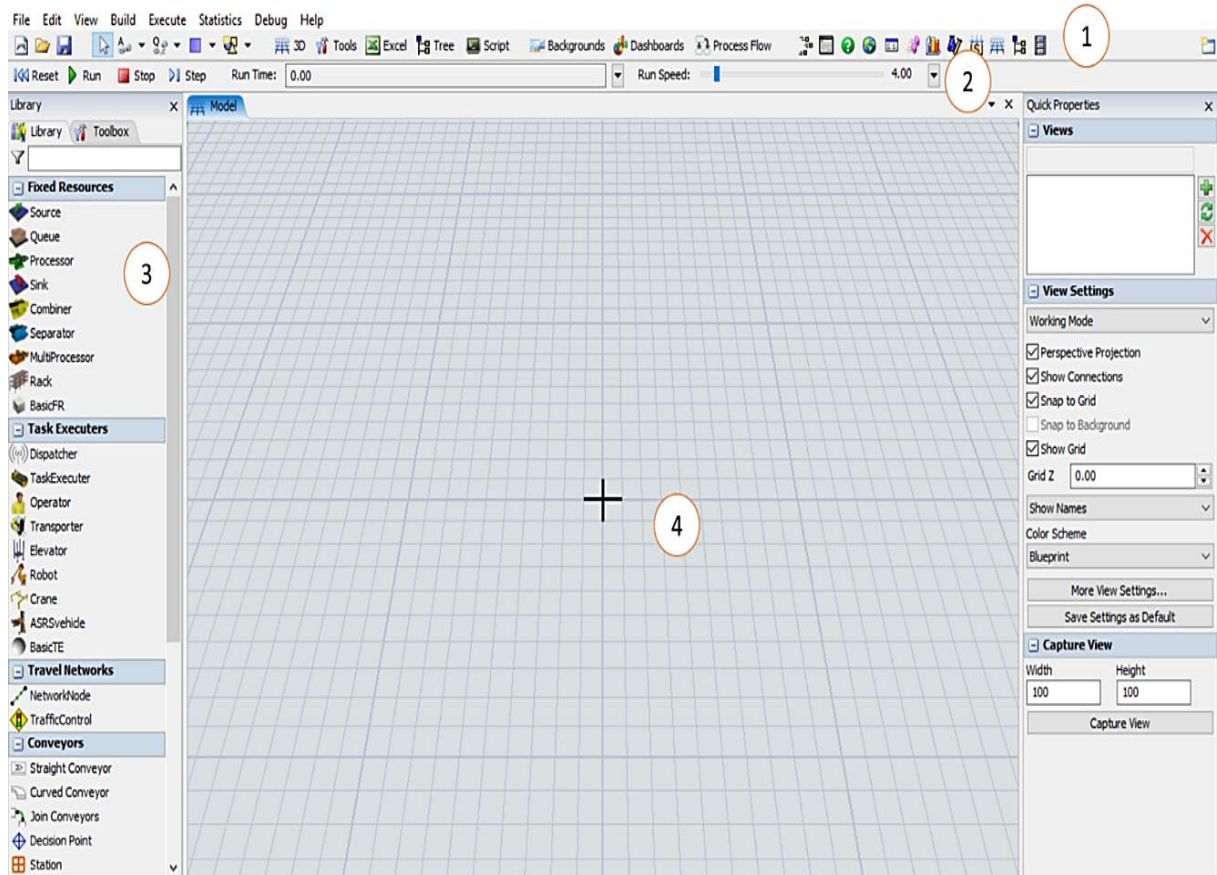
Figura 14: Configuração inicial do simulador Flexsim



Fonte: Tela do Flexsim

A tela seguinte é onde os modelos são criados. Ela é dividida basicamente em quatro partes, conforme a Figura 15.

Figura 15: Tela inicial do Flexsim

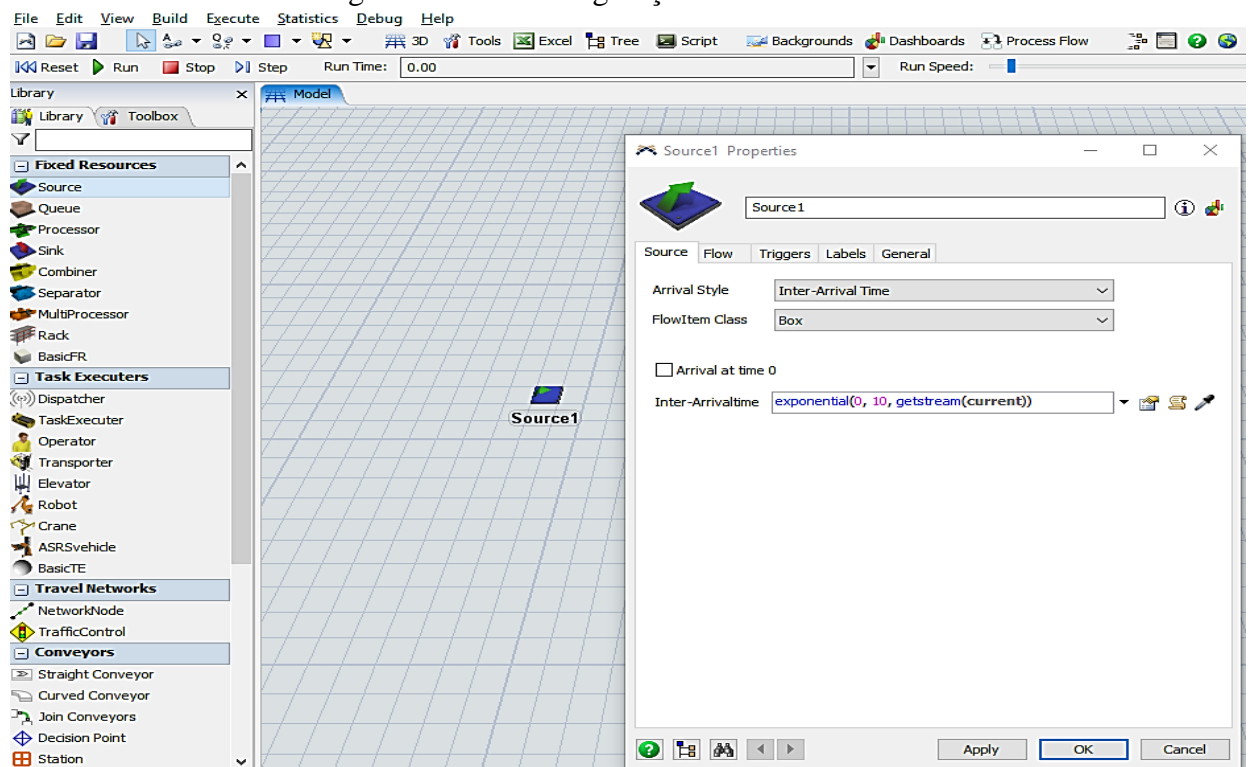


Fonte: Tela do Flexsim

- 1) Barra de ferramenta principal: tem o mesmo padrão do Windows. Neste menu é possível salvar, abrir, abrir a tela de códigos, explorar os relatórios, entre outros;
- 2) Painel de controle da simulação: onde a simulação é controlada. Possui botões que iniciam, pausam e aumentam a velocidade. Esse menu pode ser customizado de acordo com que o usuário mais acessa;
- 3) Grade da biblioteca: local onde ficam os objetos que serão inseridos na janela de visualização;
- 4) Janela de Visualização: tela que de início só aparece uma grade e que os objetos serão arrastados para a criação dos modelos.

As chegadas dos itens/entidades são indicadas no objeto *Source*. Para acessar a configuração, primeiramente o bloco é posicionado na área de trabalho do simulador e com um duplo clique com botão esquerdo do mouse os valores são inseridos na janela aberta. Existe a possibilidade da criação dos itens em intervalos ou *schedule* e, na escolha do primeiro como feito neste estudo, é inserida a distribuição no campo *Inter-Arrivaltime*. Já em *FlowItem Class* é selecionado o objeto que será criado. Exemplo: caixa, paletes, caminhões ou pessoas. Essa tela é ilustrada na Figura 16.

Figura 16: Tela configuração do bloco *Source*



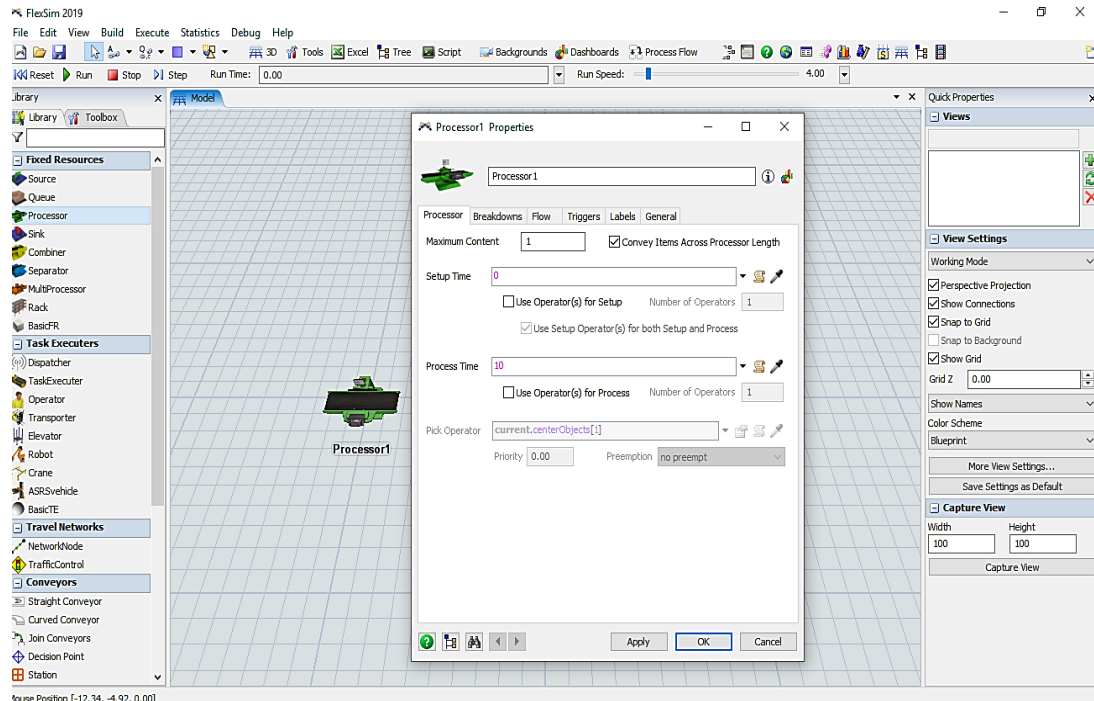
Fonte: Tela do Flexsim

Para representar um processo existente se usa o objeto *processor*. Nele é configurado a capacidade de processamento, tempo de setup e de processo, assim como quem fará a atividade. A Figura 17 demonstra como é o menu principal do *processor*.

Outra ferramenta utilizada nesse estudo é o *combiner*. Ela tem por finalidade agrupar determinada quantidade de itens. Por exemplo, para um paleta somado a uma quantia em caixas, o resultado é um paleta montado. Para isso são usadas duas entradas ou mais de entidades. A primeira ligação representa o primeiro item que será agrupado (Paletes) com a segunda (Caixas). No menu do *combiner*, na aba *process times* se configura o tempo de processo e de

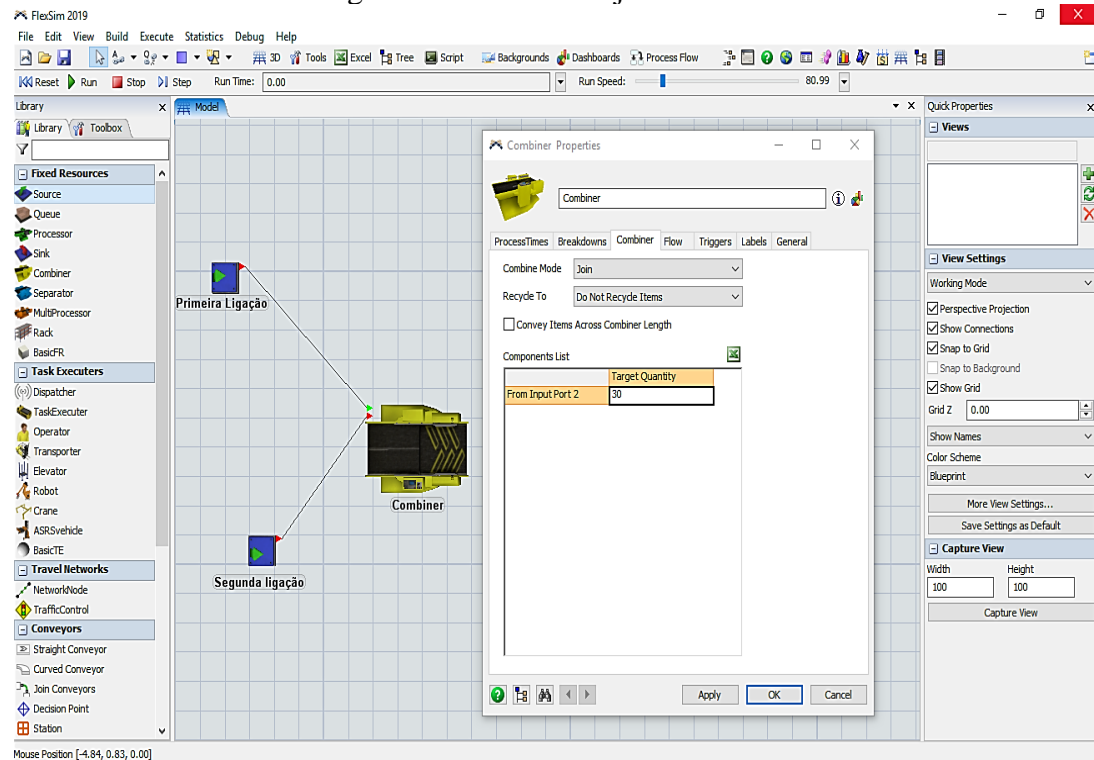
setup. Porém, na aba *combiner* que se insere a quantidade de objetos da segunda ligação que serão agrupados, conforme a Figura 18.

Figura 17: Menu do objeto *processor*



Fonte: Tela do Flexsim

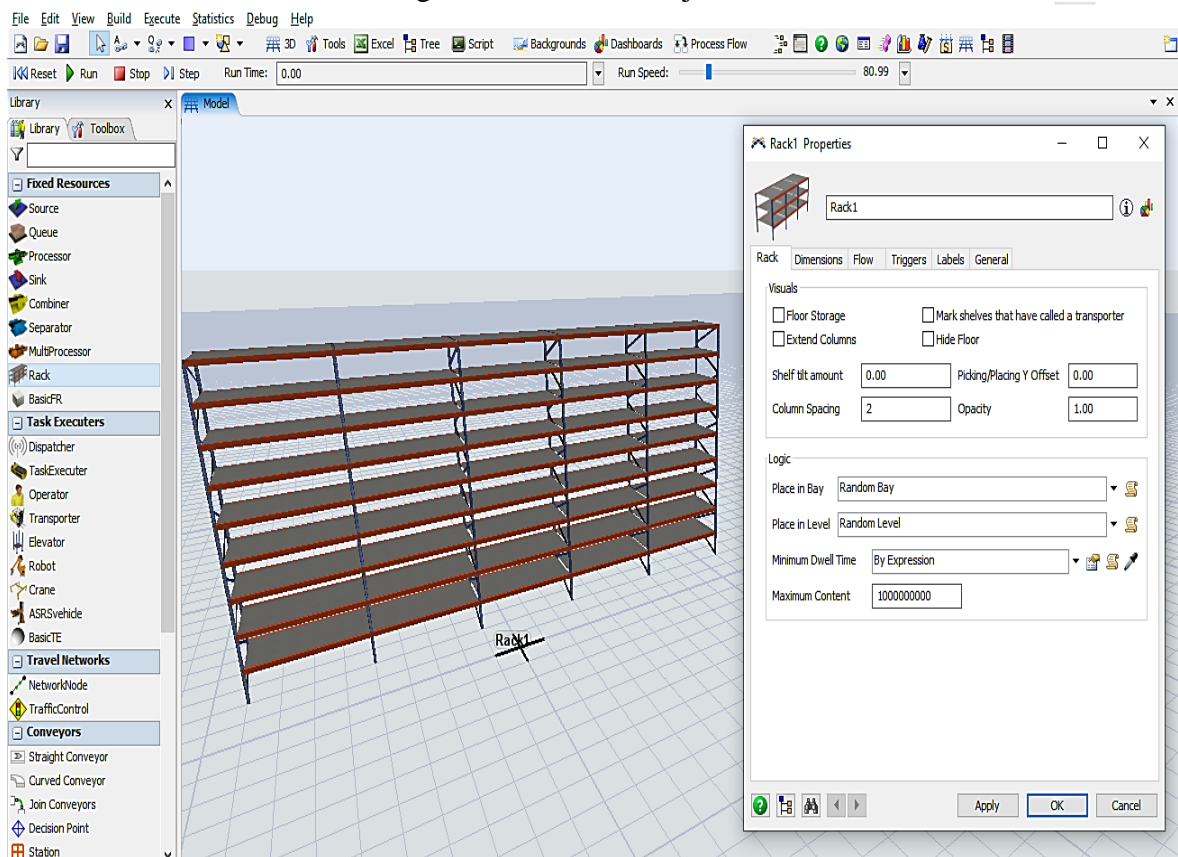
Figura 18: Menu do objeto *combiner*



Fonte: tela do Flexsim

Racks ou estrutura de armazenagem no simulador, funcionam como um ponto de espera cuja retirada de entidades pode ser unitária ou múltipla. Podem ser armazenados diversos tipos de entidades, entretanto a mais comum em processos logísticos é o palete. O simulador de forma bastante intuitiva oferece o objeto *rack* que com apenas uma seleção simples se transforma em um *stage*. A Figura 19 apresenta o menu do objeto *rack*.

Figura 19: Menu do objeto *rack*



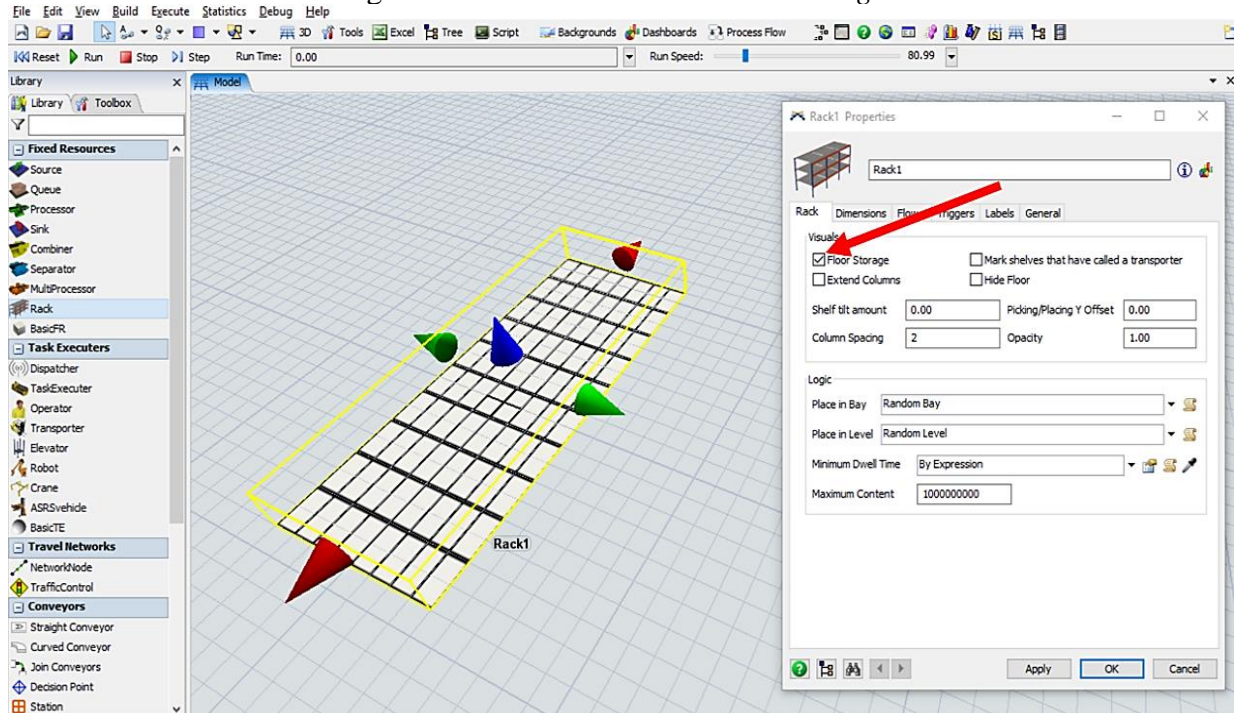
Fonte: Flexsim

O *stage* trabalha como um *rack* só que é localizado no chão. São posições que normalmente ficam próximo das docas de carga e descarga. Nesses processos podem ocorrer outros processos como: conferência, etiquetagem, remanejamentos, entre outros. A Figura 20 o apresenta como transformar o *rack* em *stage* na versão 2019.

No simulador os itens podem seguir de um processo para outro sem depender de um transportador. Para isso basta apenas conectar os dois processos ao manter pressionada a tecla A do teclado e clicar em ambos os objetos. Também é possível usar operador, caminhão, braço robô, transelevadores, esteira para fazer a movimentação. Após a conexão dos objetos é preciso inserir o transportador na área de trabalho e conectar o objeto que irá distribuir o item, mantendo

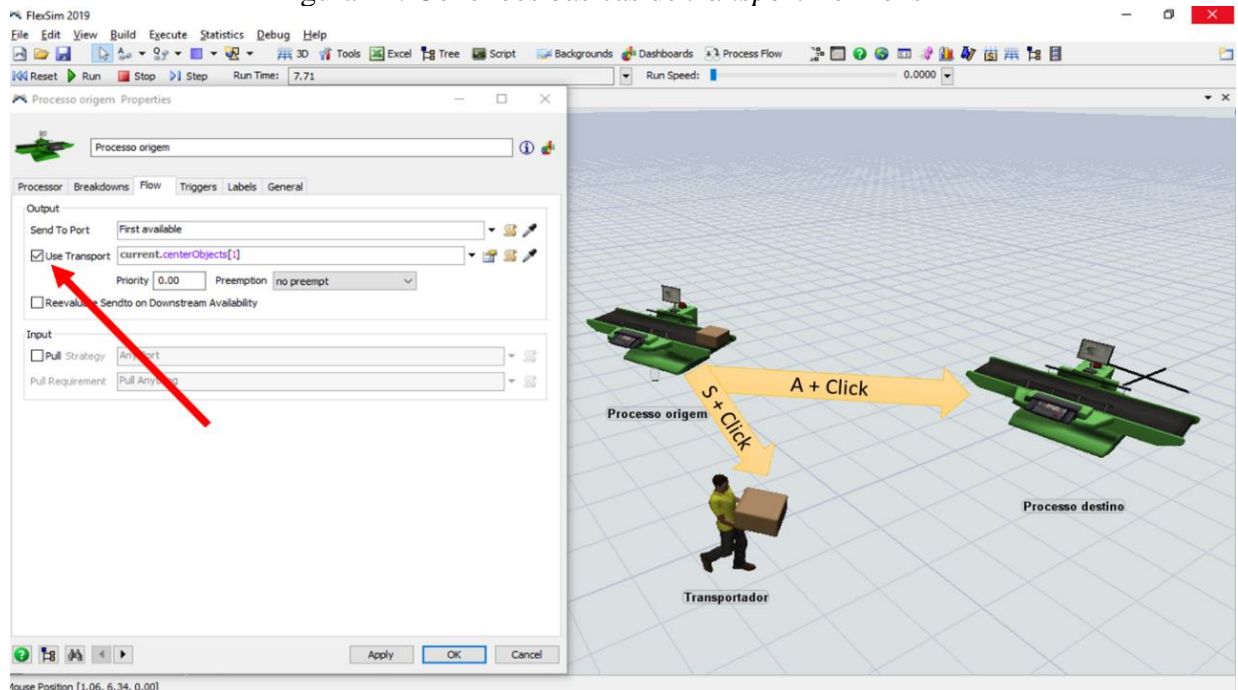
pressionada a tecla S. Com as conexões feitas, basta apenas seguir as configurações do objeto que solicitará o transporte, selecionar a aba *flow* e a opção *use transport*. O processo descrito está ilustrado na Figura 21.

Figura 20: Transformando o rack em *stage*



Fonte: tela do Flexsim

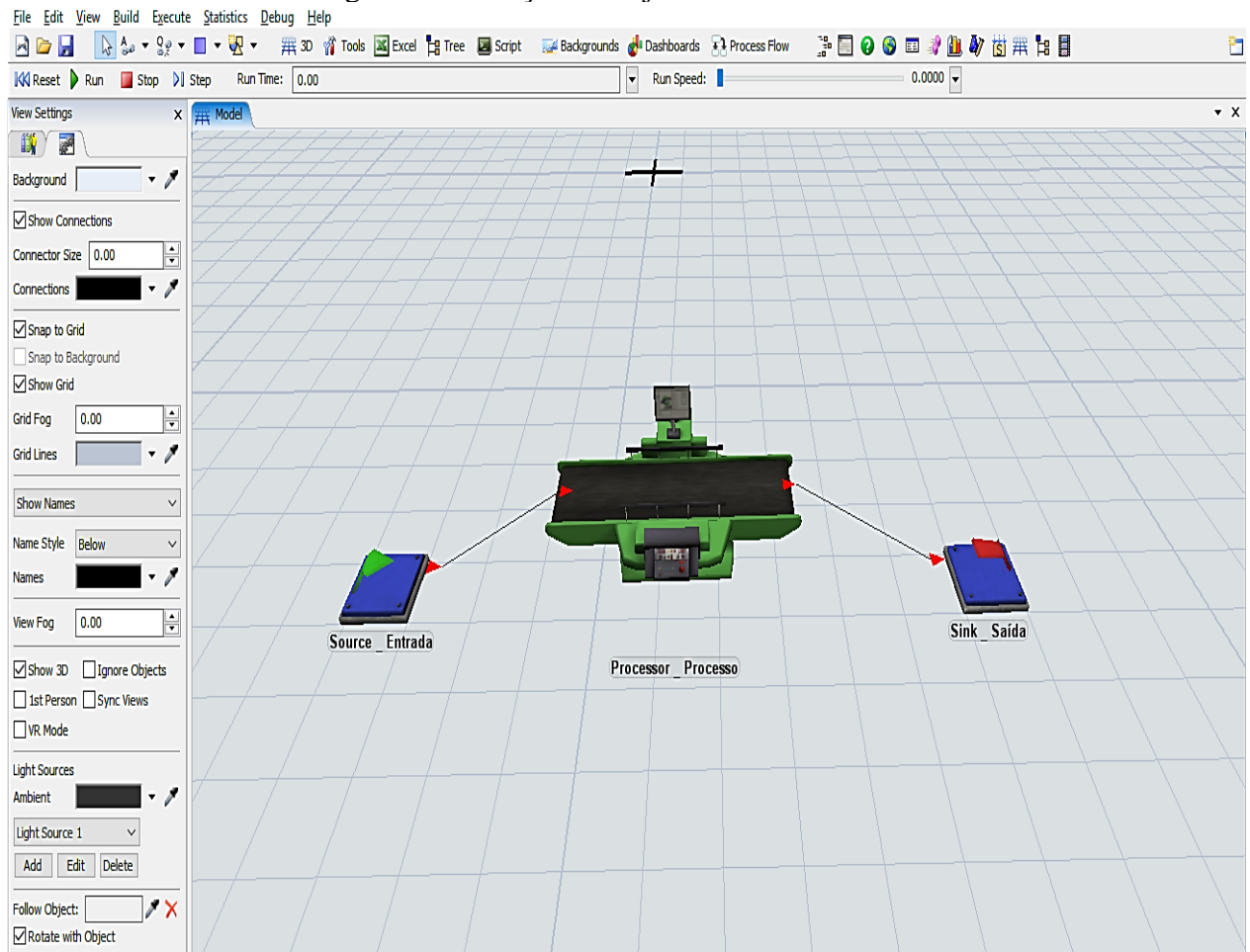
Figura 21: Conexões básicas de *transport* no Flexsim



Fonte: tela do Flexsim

Para indica o fim do fluxo da entidade que percorreu o sistema utiliza-se o objeto *sink*. Ele representa o ponto que acaba o fluxo ou a saída. O uso do objeto *sink* também pode ser usado para a criação de lógicas de animação, quando a saída da entidade indicar que algo deve ser realizado. A Figura 22 demonstra como é um modelo simples com o *sink*.

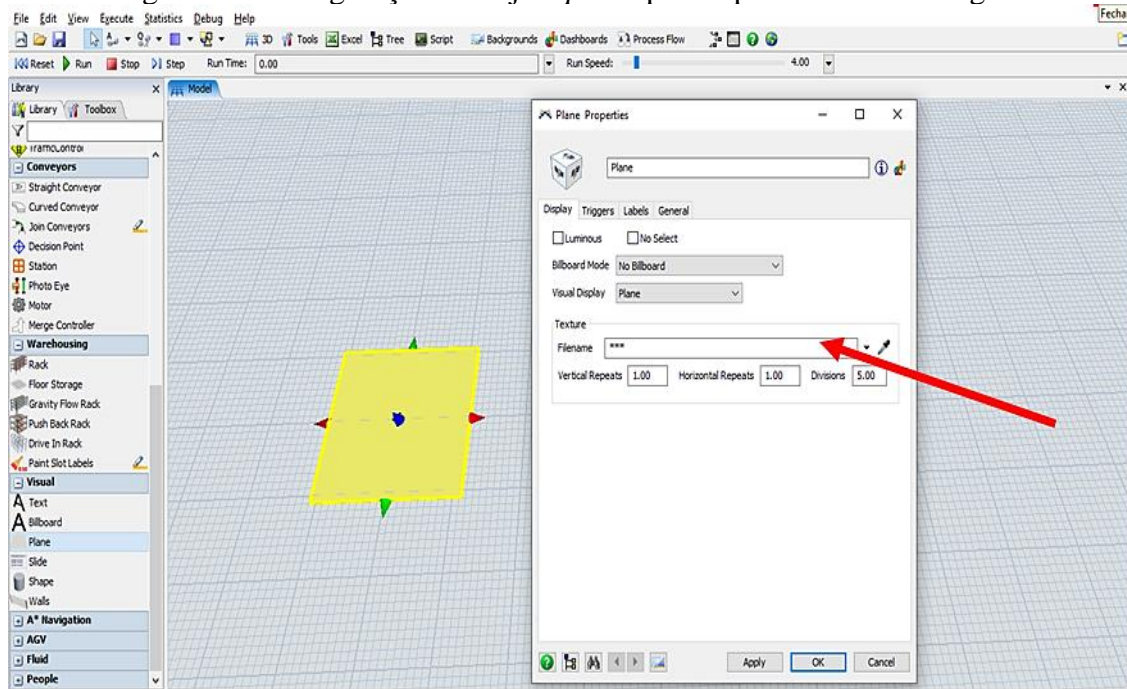
Figura 22: Inserção do objeto *sink* no modelo



Fonte: tela do Flexsim

No modelo de conversão de *layout* foi utilizado a ferramenta *plane*. É um plano que pode ser colorido ou sua imagem modificada. Utilizar o *plane* é uma das formas de criar cartazes ou dados da simulação. Nesse estudo o *plane* foi utilizado para configurar o chão do armazém. A configuração do objeto *plane* em formato de imagem é mostrada na Figura 23.

Figura 23: Configuração do objeto *plane* para representar uma imagem



Fonte: tela do Flexsim

O simulador baseado em fluxogramas traz maior agilidade na construção dos modelos, por utilizar objetos que, ao arrastar e soltar, eliminam algumas configurações obrigatórias em simuladores totalmente programados. Entretanto, a dificuldade em trabalhar com simulador 3D é proporcional a quantidade de lógicas necessárias inseridas. Segundo Tang *et al.* (2020), os simuladores 3D atuais disponibilizam ao usuário ferramentas pré-programadas para trabalhos comuns, porém são alteradas ou até mesmo criadas do zero para aplicações mais específicas e complexas. A exemplo disso, no simulador utilizado neste estudo os objetos e transportadores têm suas configurações próprias, sendo necessário apenas o duplo clique sobre eles para que o usuário tenha acesso às configurações avançadas. As conexões e desconexões entre objetos são muito fáceis de realizar ao segurar a tecla A ou S do teclado, respectivamente.

Na versão 2019 do simulador também existe uma simples seleção no menu do rack que o transforma em *stage*. Outra característica comum nos simuladores 3D é a apresentação das rodadas de simulação por meio de animações. Para Kraus e Shabalin (2020), a apresentação dos resultados da simulação deve estar acessível aos que irão absorver os conhecimentos e o analista construtor do modelo precisa se preocupar no modo dessa apresentação.

No simulador 3D usado nesse estudo o estado da simulação é visto na tela do computador de forma que a operação possa ser observada como um todo, favorecendo a identificação de gargalos e oportunidades de otimizar o fluxo dos processos. O movimento dos

equipamentos e caixas proporcionam a discussão antes mesmo da finalização das rodadas. Após o fim da simulação, os dashboards gerados fortalecem o que foi visto e podem ser compartilhados em reuniões gerenciais ou apresentados ao cliente para tomada de decisão. Um problema a ser questionado é a necessidade de equipamentos potentes na criação de modelos grandes. Quando a simulação se inicia, todos os objetos 3D se movem e isso pode ocasionar travamentos no computador ou perda significativa na qualidade da imagem exposta.

3.3 Navegação no simulador por meio dos óculos de realidade virtual

Posterior a criação das três simulações em 3D, instalação dos óculos de realidade virtual, e configuração do software Trinus, ainda existem alguns ajustes a serem feitos para que a navegação em realidade virtual seja possível. O simulador reconhece automaticamente o controle do vídeo game Xbox, para substituir o movimento do *mouse* quando é necessário alterar a vista da simulação. Essa configuração é básica, mas o código do controle pode ser customizado quanto a seus botões ou forma de interação. Nesse estudo foi utilizado a configuração básica para facilitar o manuseio e a explicação desses comandos estão presentes na Figura 24.

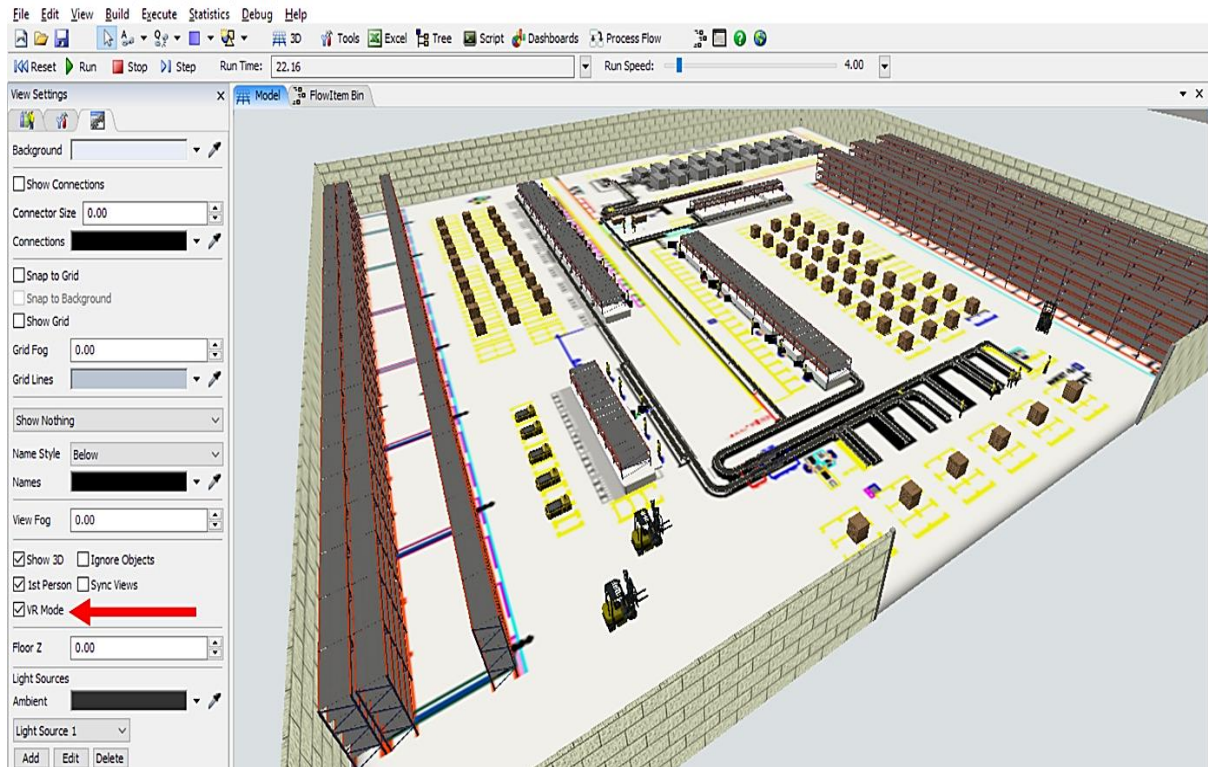
Figura 24: Uso básico do controle do Xbox no Flexsim



Fonte: adaptado de www.xbox.com

A visão em realidade virtual no simulador é acionada pela aba *view*, *view settings* e selecionar o campo *VR mode*, conforme a Figura 25.

Figura 25: Executando a vista VR no simulador

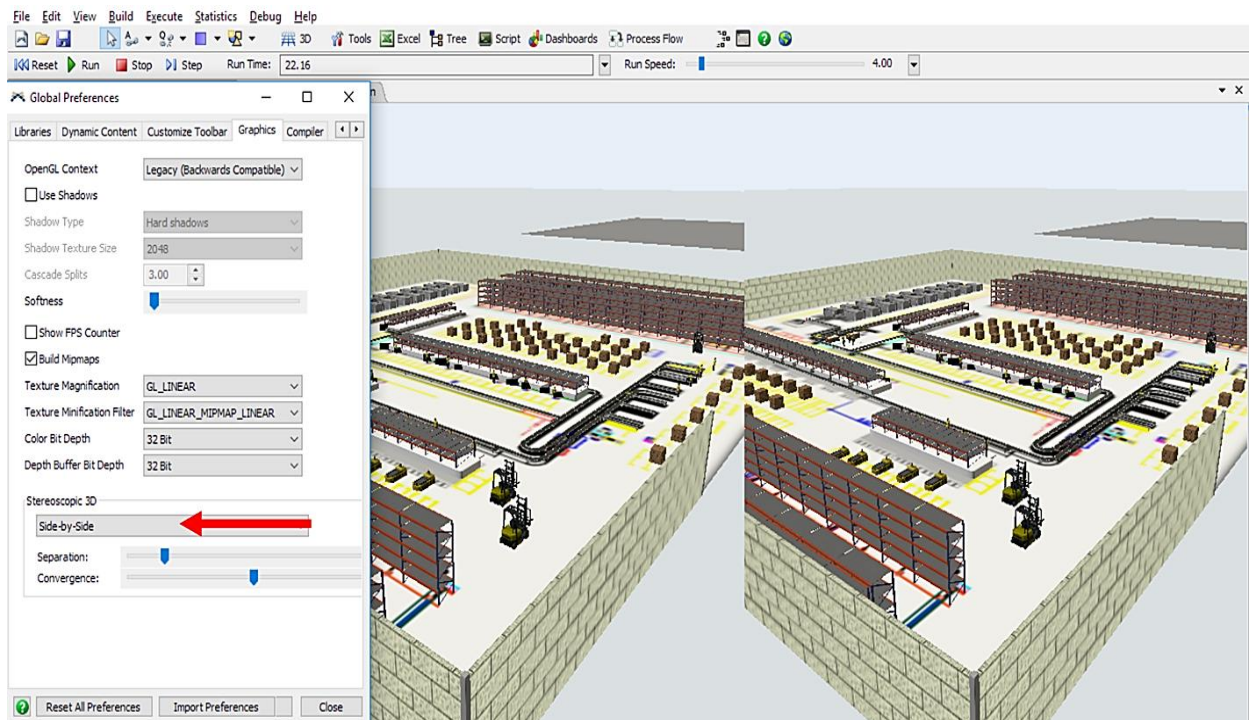


Fonte: tela do Flexsim

Para que o efeito de profundidade seja criado, a imagem vista é dividida em duas. Segue o processo para esta função: Aba *file*, *global preferences*, *graphics*, *stereoscopic 3D* e seleção da opção *side-by-side*. Essa configuração é abordada na Figura 26.

A realidade virtual profissional é uma tecnologia que atrai pela exclusividade e por ser aplicada nas diversas áreas do conhecimento. A navegação em um ambiente 3D por meio dos óculos de realidade virtual traz a sensação de que o usuário seja participante do cenário. Essa imersão aumenta a compreensão sobre os dados do cenário, principalmente tratando-se da disposição dos objetos. Um *layout* visto em formato 2D, 3D e em realidade virtual oferece experiências diferentes. O formato 2D fraqueja na apresentação da profundidade, largura e altura dos componentes. No formato 3D as dimensões passam a ser perceptíveis, só que de forma proporcional, uma vez que o ambiente representa algo em escala menor. A realidade virtual entre as duas anteriores é a que melhor apresenta as dimensões, e em simuladores animados a imersão fica ainda mais realista pela movimentação de equipamentos em velocidade real.

Figura 26: Divisão da tela no Flexsim



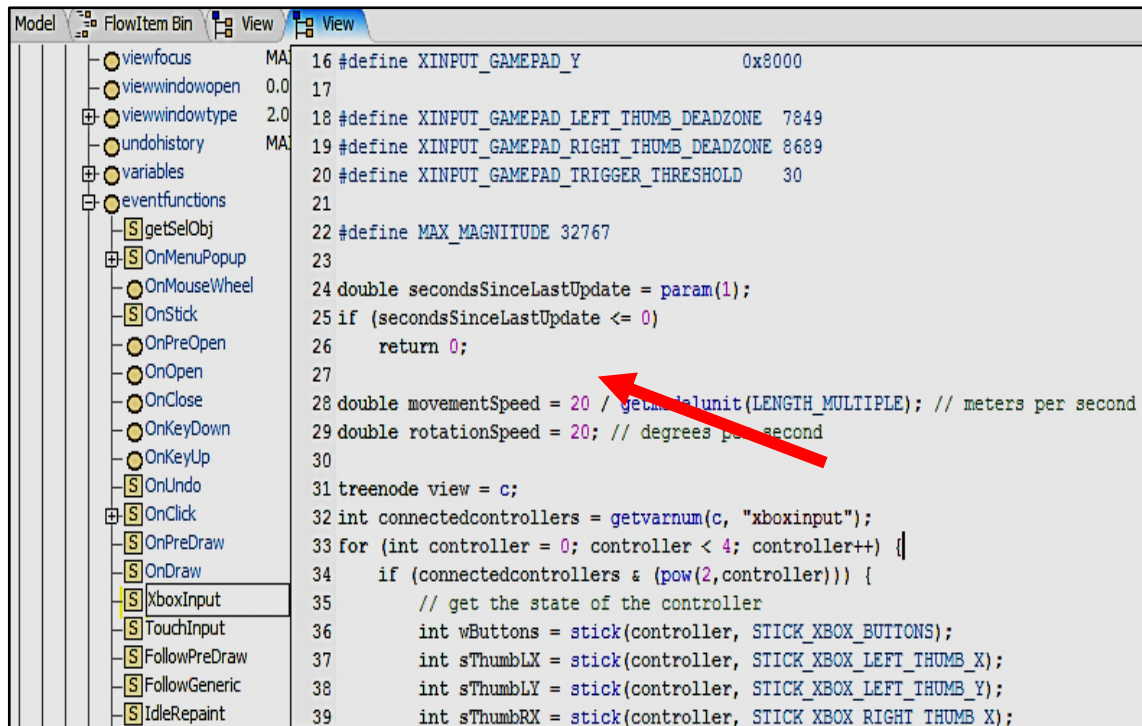
Fonte: tela do Flexsim

Caminhar pelo modelo virtual com a ajuda de um *Joystick* com praticamente apenas quatro movimentos deixa a experiência intuitiva. O código do controle Xbox usado no simulador é totalmente customizado, o que possibilita a criação de interações adaptadas para cada simulação.

Para colocar os óculos na cabeça não é preciso muita técnica, apenas alguns ajustes manuais entre as lentes e os olhos. Esse ajuste é feito segurando com as duas mãos os óculos e puxando para cima ou baixo até conseguir o melhor foco.

O enjoo de movimento característico desse tipo de aplicação foi confirmado. Isso ocorre principalmente quando o usuário utiliza os óculos em pé e realiza movimentos muito rápidos de giro com o *joystick*. Esse ponto negativo pode ser amenizado se o usuário usar os óculos sentado e se a velocidade de giro do joystick for menor. O caminho para realizar esse ajuste é: Aba superior *tree*, lado esquerdo do menu que se abre selecionar *view*, *standardviews*, *documentwindows*, *perspective*, *eventfunctions* e *XboxInput*. Na janela de códigos que visualiza a configuração de caminhar e de giro seguem as unidades padrão do simulador, e os campos passíveis de ajuste são *movementspeed* e *rotationspeed*, conforme a Figura 27.

Figura 27: Tela de ajuste da velocidade do controle Xbox



Fonte: tela do Flexsim

Foram gerados pequenos vídeos demonstrando as simulações 3D já em formato de tela, dividida para a realidade virtual. Se for reproduzido em um celular e combinado com os óculos de realidade virtual de celular, será possível ter a experiência parecida com a dos óculos PSVR, porém sem as interações do *joystick*. Para que a qualidade do vídeo não seja reduzida, deve ser realizado o *download*. Esses vídeos foram carregados no Google *drive* e disponibilizados nos links abaixo:

- 1) Simulação do *miniload*:

https://drive.google.com/file/d/1PsDYek2e0Lzeozc0BKVj62DvByeeT_DN/view?usp=sharing

- 2) Simulação do braço robô:

<https://drive.google.com/file/d/1zT1MEyZ0ikkSBkwvzY51bI62BwfhBF8K/view?usp=sharing>

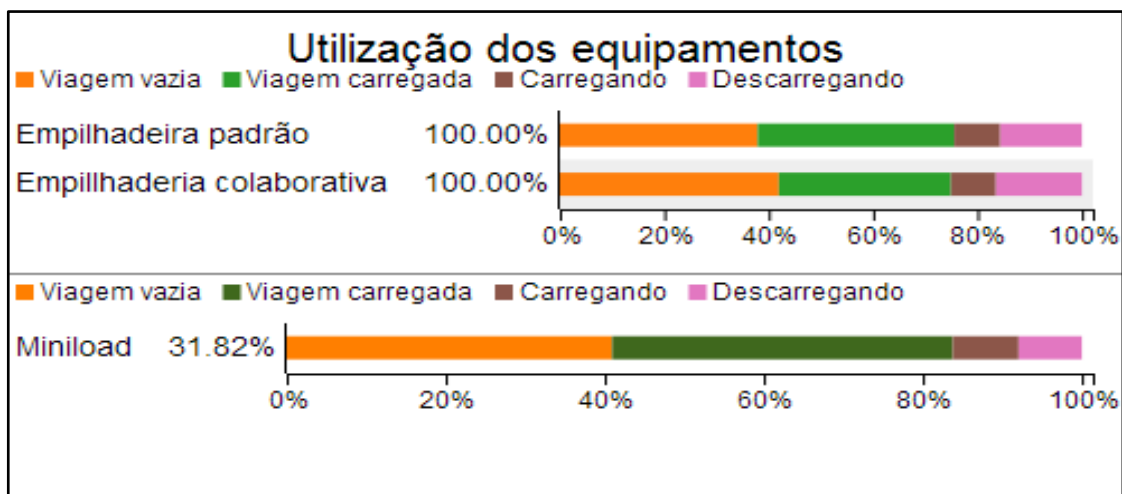
- 3) Simulação do *layout* 3D: https://drive.google.com/file/d/1BI3GTnXits_dTjDxJFcDwmyxJ9PVIPd/view?usp=sharing

3.4 Análises da simulação do sistema *miniload*

A implantação do elevador de palete *miniload* na operação 3D criada no simulador, possibilita por meio da animação o entendimento das características do equipamento para aqueles que não o conhecem na realidade. O avanço das texturas 3D torna os objetos visualmente parecidos com os objetos reais. A riqueza de detalhes prende a atenção dos espectadores, e isso contribui para a fixação do conhecimento (SUH e LEE, 2018). Quando a rodada no simulador se inicia, o equipamento se movimenta em velocidade real. Ou seja, do ponto A para o B, tanto o equipamento virtual quanto o real, chegaram ao mesmo tempo, se mantidas as circunstâncias.

Na operação simulada, duas cargas são armazenadas do *stage* para o rack por dois operadores de empilhadeira. Uma terceira carga é armazenada pelo *miniload* que precisa ser abastecida pelo operador de empilhadeira. Para isso, cria-se uma atividade prioritária para o operador, que ao terminar de levar o palete para o *miniload*, retorna para sua atividade. A Figura 28 apresenta o dashboard criado no simulador, que apresenta o nível de utilização dos três movimentadores. A implantação do *miniload* na operação se mostrou favorável mesmo com a existência de períodos de ociosidade ocasionados pela ocupação dos empilhadores que o abastecem. Outro ponto favorável é que a distância entre os racks que as empilhadeiras utilizam para manobrar são eliminadas com a implantação do *miniload*. A armazenagem e separação passam a ser realizadas somente por ele, o que diminui acidentes e aumenta a quantidade de materiais armazenados.

Figura 28: Utilização dos equipamentos

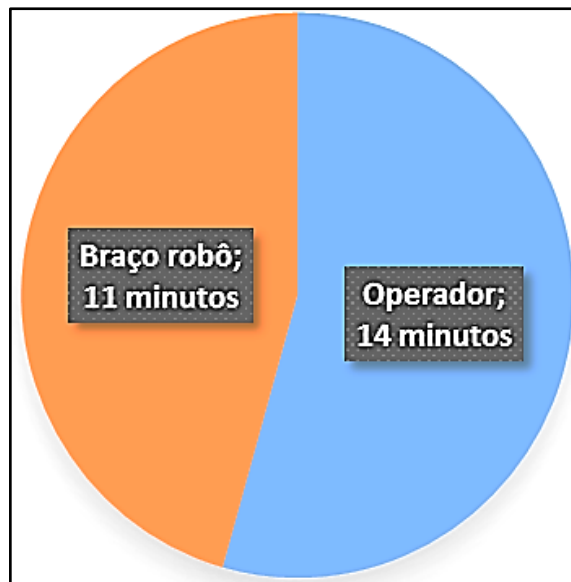


Fonte: tela do Flexsim

3.5 Análise da simulação do braço robô

A segunda simulação abordou a implantação do braço robô no abastecimento de linhas de montagem de kits. Esse tipo de aplicação é crescente nas indústrias, pois é adaptável a diversos tipos de ambientes e atividades. No simulador, a rodada que simula a movimentação das caixas pelo operador iniciou ao mesmo tempo do braço robô. O robô terminou os três paletes 28% mais rápido que o operador. O gráfico gerado que melhor ilustra essa atividade encontra-se na Figura 29.

Figura 29: Diferença de tempo de processamento entre operador e braço robô



Fonte: tela do Flexsim

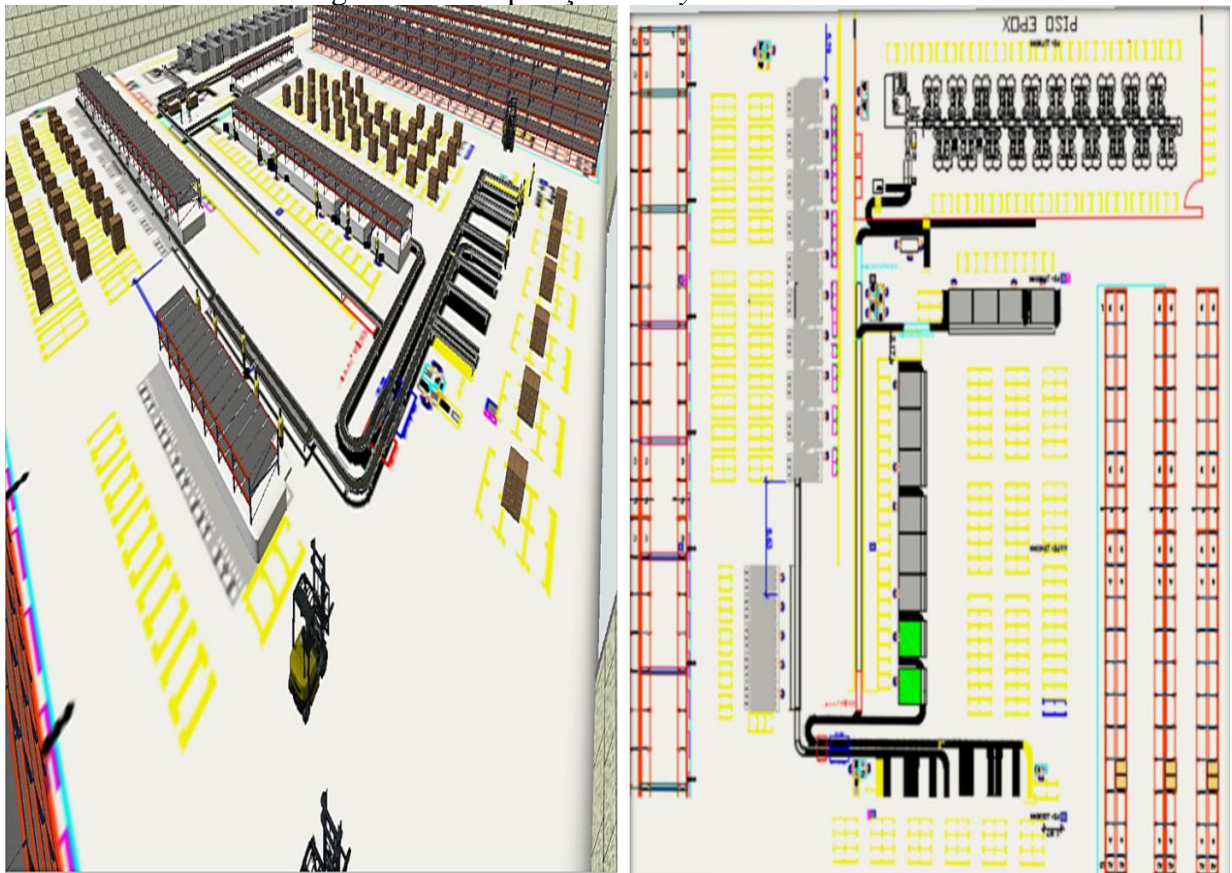
A simulação do braço robô não abordou as variáveis de paradas do funcionário para ir ao banheiro, ou até mesmo pequenas distrações. Também não contabilizou o tempo de *setup* do braço robô. A comparação considerou apenas o trabalho em desmontar as linhas sem interrupções. Para Kadir e Broberg (2021), a crescente demanda de mercado força os operadores logísticos a produzirem com mais agilidade, e em muitos casos 24h por dia, o que ocasiona maiores possibilidades de lesões e afastamentos por parte dos operários. Diante desse problema, ao substituir o operador pelo braço robô em atividades repetitivas e que exigem força física, elimina os riscos dessas atividades. Segundo De Queiroz Padilha, Caprera e Ibusuki, (2019), o custo médio de um braço robô com as características similares ao deste estudo é de

aproximadamente R\$220 000. O custo total médio mensal de um operador logístico é de R\$3105,00. Portanto, o retorno de investimento simples, se considerado apenas a economia com o operador, é de 5 anos e 5 meses.

3.6 Navegação no simulador por meio dos óculos de realidade virtual

O simulador também foi utilizado para a conversão do *layout* 2D em *layout* 3D. Como abordado no estudo de Salanitri, Lawson e Waterfield (2020), foi possível constatar que a percepção dos postos de trabalho e distâncias são favorecidas pelo formato 3D, cuja proporção das dimensões aumenta a compreensão e fixa mais a atenção, por possibilitar o movimento das entidades, processos e transportadores. A Figura 30 possibilita a comparação entre *layout* do formato 3D à esquerda do 2D à direita.

Figura 30: Comparação do *layout* 3D com o 2D



Fonte: tela do Flexsim

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso da realidade virtual traz grandes benefícios para o entendimento dos dados contidos no cenário 3D criado. A percepção da movimentação dos equipamentos, dimensões dos objetos, fluxo dos processos e gargalos tornam-se mais claros para os usuários. Por não ser acessível a todas as organizações, quem tem o contato tende a ser cativado pela inovação. O controle do Xbox se mostrou de fácil manuseio, pois ao conectar na porta USB já é reconhecido pelo Windows e pelo simulador, necessitando apenas os ajustes de velocidade, rotação ou atribuição de botões, se for necessário. O cinetose é o enjoo que ocorre em alguns usuários no primeiro contato com ambientes de realidade virtual, é comum e pode ser diminuída com ajustes na velocidade do simulador e com o uso contínuo dos óculos.

A versão teste do *software* Trinus foi o suficiente para a realização dos experimentos. Nesse programa existem diversas possibilidades de configuração, mas para o uso no simulador foram feitos poucos ajustes. Utilizado com o Trinus, os óculos da Playstation, embora seja fabricado exclusivamente para o uso no PS4, se apresentou como uma forma alternativa e de baixo custo para a experiência em VR. O módulo dos óculos ajuda o processamento gráfico, podendo ser usado em computadores com configuração intermediária.

O Flexsim na atualidade é um dos simuladores mais utilizados. Isso se deve a combinação da facilidade de criação de modelos simples, recursos 3D aprimorados e recursos adicionais como a visualização em realidade virtual. A dificuldade para operar o simulador está diretamente relacionada com a complexidade do projeto de simulação. Entretanto, independente disso ele pode ser programado de forma que o analista modele qualquer setor produtivo. A movimentação dos objetos 3D na tela do computador proporciona que as análises possam ser também subjetivas, baseadas na visualização do ambiente, conforme transportadores e entidades realizam suas atribuições. A geração dos *dashboards* também é facilitada para que, durante as rodadas, sejam atualizados dinamicamente, facilitando ainda mais a compreensão.

Com base na literatura é possível afirmar que o uso de simuladores 3D não é amplamente utilizado em pequenas e médias empresas devido ao alto custo e dificuldade em programar projetos mais complexos, o que exige mão de obra qualificada. A gestão utiliza

outros meios para analisar dados e realizar projeções. Isso se deve pelo alto valor cobrado pelos fornecedores e a falta de profissionais qualificados.

Na simulação do transportador *miniload*, foi possível concluir que o equipamento é capaz de promover a diminuição a largura do corredor entre os *racks*, uma vez que elimina a manobra do empilhador, o que aumenta a densidade dos armazéns. No estudo, o *miniload* precisou ser abastecido por algum operador de empilhadeira próximo. Isso foi feito por meio da criação de prioridades no simulador, o que no mundo real seria a geração de atividade sistêmica. A espera pelo operador gerou o problema de ociosidade, mesmo assim, para produtos de alta rotatividade o equipamento é viável.

A automação logística é necessária para acompanhar a dinâmica e concorrência do mercado. A simulação da substituição do operador pelo braço robô aumentou em 28% a produtividade. O resultado é explicado pela velocidade de 5 metros por segundo de giro e pelo mantimento da produtividade constante. O braço robô seria pago em aproximadamente 5,5 anos, mas o estudo não aprofundou nas pesquisas de preços dos equipamentos e custos finos de manutenção.

Os modelos 3D têm como principal característica a demonstração da percepção de profundidade e altura dos objetos. A criação dos cenários 3D requer maior conhecimento sobre desenho gráfico, com exceção do uso de ferramentas específicas que possuem desenhos 3D padrão, como o simulador utilizado no estudo. A movimentação dos objetos 3D ilustra as atividades com mais riqueza de detalhes, como por exemplo o agachamento de um operador para pegar a caixa, em um estudo sobre ergonomia.

Como limitação deste estudo, pode ser apontado o não desenvolvimento de pesquisas para o uso de periféricos de interação avançada. Atualmente já é possível simular o movimento real de uma pessoa no cenário 3D por meio de controles específicos. Os óculos de realidade virtual quando usado para games utiliza os controles *moves* do mesmo fabricante. O estudo também poderia ter entrado nas pesquisas de custo de aquisição e manutenção dos equipamentos propostos pela simulação. Os resultados de uma simulação devem estar atrelados ao que o analista deseja como resposta, por isso as considerações no estudo foram simplificadas, mas poderiam ser mais detalhadas.

A pesquisa atendeu os objetivos gerais e específicos tanto na criação das simulações, quanto na navegação em realidade virtual. Foi possível também explorar e compartilhar os

recursos do simulador, além de demonstrar como a implantação de equipamento automatizados otimiza os processos logísticos.

Algumas oportunidades de pesquisas futuras foram descobertas como:

- 1) Desenvolvimento de treinamentos operacionais para empresas interativas utilizando a realidade virtual de baixo custo e os controles *moves* que interagem com o ambiente imerso. Possivelmente isso exigirá a criação de lógicas próprias dessa aplicação;
- 2) Inserir o uso da realidade virtual nas disciplinas dos cursos de ensino técnico e superior do centro Paula Souza. Os alunos ingressantes poderiam, além de acompanhar o conteúdo visto em *slides*; visualizar cenários, equipamentos e processos utilizando os óculos de baixo custo e o simulador de eventos discretos;
- 3) Trabalho com o mesmo simulador em projetos mais complexos utilizando lógicas mais lógicas de programação. Um exemplo disso seria a integração de um banco de dados como a entrada de dados no simulador ou a geração de *dashboards* divulgados em tempo real em outra plataforma.

REFERÊNCIAS

- AKÇAYIR, M.; AKÇAYIR, G. Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature. *Educational Research Review*, v. 20, p. 1-11, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1747938X16300616>. Acesso em: 10/07/2020.
- ALHEJJI, H.; GARAVAN, T.; CARBERY, R., ALHEJJI. Diversity training programme outcomes: A systematic review. *Human Resource Development Quarterly*, v. 27, n. 1, p. 95-149, 2016. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/hrdq.21221>. Acesso em: 26/06/2020.
- APRILE, M.; CAPUTO, V.; NAYGA JR, R. Consumers' preferences and attitudes toward local food products. *Journal of food products marketing*, v. 22, n. 1, p. 19-42, 2016. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10454446.2014.949990>. Acesso em: 10/07/2020.
- ARTEIRO, A.; CATALANOTTI, G.; REINOSO, J.; LINDE, P. Simulation of the mechanical response of thin-ply composites: from computational micro-mechanics to structural analysis. *Archives of Computational Methods in Engineering*, v. 26, n. 5, p. 1445-1487, 2019. Visto em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11831-018-9291-2>. Acesso e: 20/02/2020.
- BALLOU, R., H. The evolution and future of logistics and supply chain management. *Production*, v. 16, n. 3, p. 375-386, 2006. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-65132006000300002&script=sci_arttext. Acesso em: 10/02/2021.
- BANASZEK, D.; YOU, D.; CHANG, J.; PICKELL, M.; HESSE, D. Virtual reality compared with bench-top simulation in the acquisition of arthroscopic skill: a randomized controlled trial. *JBJS*, v. 99, n. 7, p. e34, 2017. Disponível em: <https://journals.lww.com/oncology-times/00004623-201704050-00013.fulltext>. Acesso em 04/04/2020.
- BASKERVILLE, R., BAIYERE, A., GREGOR, S., HEVNER, A., & ROSSI, M. Design science research contributions: Finding a balance between artifact and theory. *Journal of the Association for Information Systems*, v. 19, n. 5, p. 3, 2018. Disponível em: <https://aisel.aisnet.org/jais/vol19/iss5/3/>. Acesso em: 15/11/2020.
- BAX, M.; Design science: filosofia da pesquisa em ciência da informação e tecnologia. 2017. Disponível em: <http://200.20.0.78/repositorios/handle/123456789/3197>. Acesso: 10/11/2020.
- BECKER, A. The emergence of simulation and gaming. *Simulation & Games*, v. 11, n. 1, p. 11-25, 1980. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/104687818001100104>. Acesso em: 06/01/2021.
- BEKELE, M., K.; PIERDICCA, R., FRONTONI, E., MALINVERNI, E., S.; GAIN, J. A survey of augmented, virtual, and mixed reality for cultural heritage. *Journal on Computing and Cultural Heritage (JOCCH)*, v. 11, n. 2, p. 1-36, 2018. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/3145534>. Acesso em: 15/01/2020.
- BERGHÄLL, S. Service marketing phenomena in the context of private forest owners—A service dominant logic perspective on scholarly literature. *Current Forestry Reports*, v. 4, n. 3, p. 125-137, 2018. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40725-018-0081-8>. Acesso em: 04/04/2020.
- BRUZZONE, F.; CAVALLARO, F.; NOCERA, S. The integration of passenger and freight transport for first-last mile operations. *Transport Policy*, v. 100, p. 31-48, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0967070X20309082>. Acesso em: 04/01/2021.
- BULTURBAYEVICH, M., B.; SAODAT, S.; UMIDA, J.; SHAKHNOZA, N.; FERUZA, S. Mechanisms of state incentives for logistics centers to ensure the competitiveness of the economy. *International Engineering Journal for Research & Development*, v. 5, n. 5, p. 7-7, 2020. Disponível em: <http://iejrd.com/index.php/%20/article/view/1117>. Acesso em: 07/11/2020.
- CAIADO, R.; CAIADO, L., F.; LUIZ, O.; GAVIAO C.; PAULO IVSON, A.; DANIEL, L.; JOSE, R. A fuzzy rule-based industry 4.0 maturity model for operations and supply chain management. *International Journal of Production Economics*, v. 231, p. 107883, 2021. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527320302401>. Acesso em: 06/01/2021.

CALDWELL, T. Making security awareness training work. *Computer Fraud & Security*, v. 2016, n. 6, p. 8-14, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361372315300464>. Acesso em: 26/05/2020.

CALOGHIROU, Y.; GIOTOPOULOS, L.; KORRA, E. How do employee training and knowledge stocks affect product innovation? *Economics of Innovation and New Technology*, v. 27, n. 4, p. 343-360, 2018. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10438599.2017.1362796>. Acesso e: 26/06/2020.

CAO, R.; AGRAWAL, A. K.; EL-TAWIL, S.; XU, X.; & WONG, W. Heavy Truck Collision with Bridge Piers: Computational Simulation Study. *Journal of Bridge Engineering*, v. 24, n. 6, p. 04019052, 2019. Disponível em: [https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)BE.1943-5592.0001398](https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0001398). Acesso em: 04/04/2020.

CAPTERRA, T. Software de simulação, 2020: Disponível em: [https://www.captterra.com.br/compare/95940/144460/anylogic/vs/arena?vs\[\]=14604&vs\[\]=68406](https://www.captterra.com.br/compare/95940/144460/anylogic/vs/arena?vs[]=14604&vs[]=68406).

CARRUTH, D., W. Virtual reality for education and workforce training. In: 2017 15th International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications (ICETA). IEEE, 2017. p. 1-6. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8102472/>. Acesso em: 04/04/2020.

CHENG, B.; BAKAKE, K., K. The effects of organizational learning environment factors on e-learning acceptance. *Computers & Education*, v. 58, n. 3, p. 885-899, 2016. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360131511002582>. Acesso em: 25/06/2020.

COOPER, P. The development of the concept of war. **Journal of Peace Research**, v. 2, n. 1, p. 1-16, 1965. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/002234336500200101>. Acesso em: 06/01/2021.

DANG, B.; COLLEEN, L.; LCHANDRASEKHAR, R. Comparing Virtual Reality Telepresence and Traditional Simulation Methods: A Pilot Study. **Nursing education perspectives**, v. 41, n. 2, pág. 119-121, 2020. Disponível em: https://journals.lww.com/neponline/Fulltext/2020/03000/Comparing_Virtual_Reality_Telepresence_and.14.aspx?casa_token=7c3RUrvi49oAAAAA:MLYMbpAHp7dwZFcfbtqT7xbGcDMM6k8McWyA_cp5T3HIUfv8JTsha_uwb2jYBpbChi5TWsWZla3hnFPlrepbBJkqTo7Xma_r-a4CpFGmCSg. Acesso em: 06/01/2021.

DE QUEIROZ PADILHA, A.; CAPRERA, J., Carlos., Duarte.; IBUSUKI, U. PROPOSTA DE TESTBED DE MANUFATURA AVANÇADA BASEADO EM LEAN MANUFACTURING E INDÚSTRIA 4.0. In: Inivação e logística, 2019. Disponível em: <http://pdf.blucher.com.br/engineeringproceedings/simea2019/PAP30.pdf>. Acesso em: 03/02/2021.

DE VEIRMAN, M.; CAUBERGHE, V.; HUDDERS, L. Marketing through Instagram influencers: the impact of number of followers and product divergence on brand attitude. *International Journal of Advertising*, v. 36, n. 5, p. 798-828, 2017. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02650487.2017.1348035>. Acesso em: 10/07/2020.

DOBRÁNSKY, J.; BARON, P.; VOJNOVÁ, E.; & MANDULÁK, D. Optimization of the production and logistics processes based on computer simulation tools. In: Key engineering materials. Trans Tech Publications Ltd, 2016. p. 532-540. Disponível em: <https://www.scientific.net/KEM.669.532>. Acesso em 02/04/2020.

DOMINGO GALINDO, L. The challenges of logistics 4.0 for the supply chain management and the information technology. 2016. Dissertação de Mestrado. NTNU. Disponível em: <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2396477>. Acesso em: 10/11/2020.

EMBRAER. Realidade virtual: Uma nova tecnologia a serviço da Embraer. 2020. Disponível em: <https://embraer.com.br/pt/noticias?slug=2043-realidade-virtual-uma-nova-tecnologia-a-servico-da-embraer>. Acesso em 10/08/2020.

FARIDA, N.; NARYOSO, A.; YUNIAWAN, A. Model of Relationship Marketing and E-Commerce in Improving Marketing Performance of Batik SMEs. *JDM (Jurnal Dinamika Manajemen)*, v. 8, n. 1, p. 20-29, 2017. Disponível em: <https://journal.unnes.ac.id/nju/index.php/jdm/article/view/10408>. Acesso em: 10/07/2020.]

FONTANELLI, G., A.; PADUANO, G.; CACCAVALE, R.; ARPENTI, P.; LIPPIELLO, V. A Reconfigurable Gripper for Robotic Autonomous Depalletizing in Supermarket Logistics. *IEEE Robotics and Automation Letters*, v. 5, n. 3, p. 4612-4617, 2020. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9120328/>. Acesso em: 04/02/2021.

GARCIA-ARCA, J.; PRADO-PRADO, J., C.; GARRIDO, A. Trinidad González-Portela. On-shelf availability and logistics rationalization. A participative methodology for supply chain improvement. *Journal of Retailing and Consumer Services*, v. 52, p. 101889, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0969698918311494>. Acesso em: 03/02/2021.

GAO, Y.; CHANG, D., FANG, T.; LUO, T. The correlation between logistics industry and other industries: an evaluation of the empirical evidence from China. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, v. 34, n. 1, p. 27-32, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S209252121830004X>. Acesso em: 10/11/2020.

GEORGIADIS, A.; PITELIS, C., N. The impact of employees' and managers' training on the performance of small-and medium-sized enterprises: Evidence from a randomized natural experiment in the UK service sector. *British Journal of Industrial Relations*, v. 54, n. 2, p. 409-421, 2016. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/bjir.12094>. Acesso em: 26/06/2020.

GIULIANO, G.; KANG, S. Spatial dynamics of the logistics industry: Evidence from California. *Journal of Transport Geography*, v. 66, p. 248-258, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0966692317301278>. Acesso em: 06/11/2020.

GU, H.; LI, L. Computational fluid dynamic simulation of gravity and pressure effects in laser metal deposition for potential additive manufacturing in space. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, v. 140, p. 51-65, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0017931018339188>. Acesso em: 18/02/2020.

HE, Y., WANG, X.; LIN, Y.; ZHOU, F.; ZHOU, L. Sustainable decision making for joint distribution center location choice. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, v. 55, p. 202-216, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920916304990>. Acesso em: 07/11/2020.

HEVNER, A.; CHATTERJEE, S. Design science research in information systems. In: *Design research in information systems*. Springer, Boston, MA, 2010. p. 9-22. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4419-5653-8_2. Acesso em: 10/11/2020.

HINSCH, Chris; FELIX, Reto; RAUSCHNABEL, Philipp A. Nostalgia beats the wow-effect: Inspiration, awe, and meaningful associations in augmented reality marketing. *Journal of Retailing and Consumer Services*, v. 53, p. 101987, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0969698919306551>. Acesso em: 29/12/2020.

HULT, M.; KETCHEN, D., J. Disruptive marketing strategy. *Ams Review*, v. 7, n. 1-2, p. 20-25, 2017. Visto em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13162-017-0097-4>. Acesso em: 12/01/2020.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA (INMETRO). Unidades legais de medida. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/unidlegaismed.asp>. Acesso em: 26/01/2021.

ISLAM, A. Simulators: The Future of Training. *Technology and the Curriculum: Summer 2018*. Disponível em: <https://techandcurriculum.pressbooks.com/chapter/to-be-determined-ashfaul-islam/>. Acesso em 05/04/2020.

KADIR, B.; BROBERG, O. Human-centered design of work systems in the transition to industry 4.0. *Applied Ergonomics*, v. 92, p. 103334, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003687020302829>. Acesso em: 03/02/2021.

KAHN, B. Using visual design to improve customer perceptions of online assortments. *Journal of Retailing*, v. 93, n. 1, p. 29-42, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022435916300793>. Acesso em: 10/07/2020.

KRAUS, E.; SHABALIN, I. Comparison of ballistic resistance of layered and gradient barriers to impact. In: AIP Conference Proceedings. AIP Publishing LLC, 2019. p. 030065. Visto em: <https://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/1.5117447>. Acesso em: 17/03/2020.

KRISTENSSON, P.; PARASURAMAN, A.; MCCOLL-KENNEDY, J., R.; EDVARDSSON, B.; COLURCIO, M. Linking service design to value creation and service research. *Journal of Service Management*, v. 27, n. 1, p. 21-29, 2016. Disponível em: <https://www.ingentaconnect.com/content/mcb/josm/2016/00000027/00000001/art00003>. Acesso em: 20/03/2020.

KLOOCK-SCHREIBER, D. DISCRETE-EVENT SIMULATION FOR SPECIFICATION DESIGN OF PRODUCTS IN PRODUCT-SERVICE SYSTEMS. In: **Proceedings of the Design Society: DESIGN Conference**. Cambridge University Press, 2020. p. 255-264. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/proceedings-of-the-design-society-design-conference/article/discreteevent-simulation-for-specification-design-of-products-in-productservice-systems/DA9AE6C6A85EC9BB10B883BAF53F7573>. Acesso em: 29/12/2020.

LAW, A., M.; KELTON, W. **Simulation modeling and analysis**. New York: McGraw-Hill, 2000.

LAWSON, G.; SALANITRI, D.; WATERFIELD, B. Future directions for the development of virtual reality within an automotive manufacturer. *Applied ergonomics*, v. 53, p. 323-330, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003687015300260>. Acesso em: 03/04/2020.

LEWANDOWSKY, S., MANN, M., E., BROWN, N., J.; FRIEDMAN, H. Science, and the public: Debate, denial, and skepticism. 2016. Disponível em: <https://www.psycharchives.org/handle/20.500.12034/1420>. Acesso em: 15/11/2020.

MADLEŇÁK, R.; MADLEŇÁKOVÁ, L.; KOLAROVSKÁ, Z. System of management and traceability of logistic items through new technologies. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, v. 230, p. 128-135, 2016.

MEIßNER, M.; JELLA, P.; THIES, P.; HARMEN, O. Combining virtual reality and mobile eye tracking to provide a naturalistic experimental environment for shopper research. *Journal of Business Research*, v. 100, p. 445-458, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0148296317303478>. Acesso em: 10/07/2020.

MIKHAIL, D.; SADLLAH, S. A study on *layout* design for a logistic center–Case study at ASSA ABLOY Opening Solutions Sweden AB. 2020. Disponível em: <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:1412094>. Acesso em: 29/01/2021.

MOREIRA, D. A. *Produção e Operações*. São Paulo: Pioneira, 1998.

NGULUBE, P. Mixed Methods Research in Knowledge Management Studies (2009–2014): A Content Analysis of Journal Articles. *Journal of Information & Knowledge Management*, v. 19, n. 03, p. 2050016, 2020. Disponível em: <https://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/S0219649220500161>. Acesso em: 10/02/2021.

PADACHI, K.; BHIWAJEE, S. Barriers to employee training in small and medium sized enterprises. *European Journal of Training and Development*, 2016. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/EJTD-02-2014-0018/full/html>. Acesso em: 26/06/2020.

PARK, D., S.; LEE, D., G.; LEE, K., LEE, G. Effects of virtual reality training using Xbox Kinect on motor function in stroke survivors: A preliminary study. *Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases*, v. 26, n. 10, p. 2313-2319, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1052305717302380>. Acesso em: 10/03/2020.

PARK, C.; BAE, S.; CHOI, J. Automatic Logistics Classification System using Line Tracer and Robot Arm. In: *Proceedings of the Korean Society of Computer Information Conference*. Korean Society of Computer Information, 2020. p. 159-160. Disponível em: <https://www.koreascience.or.kr/article/CFKO202015463051623.page>. Acesso em: 04/01/2021.

PASCU, I.; NEACUSU, C. A brief review of the methods and techniques used in the innovative internal logistics

processes and systems. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2021. p. 012023. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1018/1/012023/meta>. Acesso em: 03/02/2021.

RYU, S. The role of mixed methods in conducting design-based research. *Educational Psychologist*, v. 55, n. 4, p. 232-243, 2020. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00461520.2020.1794871>. Acesso em: 10/02/2021.

SALANITRI, D.; LAWSON, G.; WATERFIELD, B. Aumentando a confiança em sistemas de realidade virtual. *Novas perspectivas sobre realidade virtual e aumentada: Encontrando novas maneiras de ensinar em um ambiente de aprendizagem transformado*, 2020. Disponível em: https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=ln_oDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT125&dq=cost+of+virtual+reality&ots=2-cSY7BafF&sig=-kz_KsQ5heepz_Vukop0uykpYVI. Acesso em: 29/12/2020.

SARKADY, D.; NEUBURGER, L.; EGGER, R. Virtual Reality as a Travel Substitution Tool During COVID-19. In: **Information and Communication Technologies in Tourism 2021**. Springer, Cham, 2021. p. 452-463. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-65785-7_44. Acesso em: 06/01/2021.

SCHNACK, A.; WRIGHT, M. J.; HOLDERSHAW, J., L. Immersive virtual reality technology in a three-dimensional virtual simulated store: Investigating telepresence and usability *Food research international*, v. 117, p. 40-49, 2019. Visto em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996918300280>. Acesso em: 10/01/2020.

SLATER, M.; SANCHEZ-VIVES, M., V. Enhancing our lives with immersive virtual reality. *Frontiers in Robotics and AI*, v. 3, p. 74, 2016. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frobt.2016.00074>. Acesso em: 12/04/2020.

SUH, Y.; LEE, K., Y. A survey of simulation provenance systems: modeling, capturing, querying, visualization, and advanced utilization. *Human-centric Computing and Information Sciences*, v. 8, n. 1, p. 27, 2018. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1186/s13673-018-0150-9>. Acesso em: 20/03/2020.

SHUSTER, B., M. Computer simulation method with user-defined transportation and *layout*. U.S. Patent n. 9, 329, 743, 3 maios 2016. Disponível em: <https://patents.google.com/patent/US9329743B2/en>. Acesso em: 15/03/2020.

TANG, X.; BRONSTAD, P., M.; DOHERTY, A., L.; MOHARRER, M.; PELI, E.; LUO, G.; BOWERS, A. R. Azar detecto with monocular biótico telescopes in a divina Simulator. *Translational Vision Science & Technology*, v. 9, n. 4, p. 26-26, 2020. Disponível em: <https://iovs.arvojournals.org/article.aspx?articleid=2764041>. Acesso em: 20/03/2020.

THAWAN, O.; ROMERO, C., M.; LEONARDO, G.; DOUGLAS R., M. Realidade Virtual Uma Abordagem Socio terapêutica. *Semana de Pesquisa do Centro Universitário Tiradentes-SEMPESq-Alagoas*, n. 6, 2018. Disponível em: https://eventos.set.edu.br/al_sempesq/article/view/11207. Acesso em: 10/02/2021.

THIEME, A. Enabling collaboration in learning computer programing inclusive of children with vision impairments. In: *Proceedings of the 2017 Conference on Designing Interactive Systems*. 2017. p. 739-752. Visto em: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/3064663.3064689>. Acesso em: 07/02/2020.

TOMA, M.; DEHESA-BAEZA, A.; CHAN-AKALEY, R.; NGUYEN, P. D.; & ZWIBEL, H. Cerebrospinal Fluid Interaction with Cerebral Cortex during Pediatric Abusive Head Trauma. *Journal of Pediatric Neurology*, 2020. Disponível em: <https://www.thieme-connect.com/products/ejournals/html/10.1055/s-0040-1708495>. Acesso em: 05/04/2020.

THOMAS, F., D.; RILEA, S.; BLOMBERG, R., D.; PECK, R., C.; KORBELAK, K. F. Evaluation of the safety benefits of the risk awareness and perception training program for novice teen drivers. *Dunlap and Associates, Inc.*, 2016. Disponível em: <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/1986>. Acesso em: 04/04/2020.

TRIATMANTO, B.; NIRWANTO, A; RAZAK, I. The impact of product quality and price on customer satisfaction with the mediator of customer value. *IISTE: Journal of Marketing and Consumer Research*, v. 30, p. 59-68, 2016. Disponível em: <http://eprints.unmer.ac.id/334/>. Acesso em: 10/07/2020.

URBANCOVÁ, H. Impact of employee development in agricultural companies on commitment, loyalty, and performance. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, v. 66, n. 3, p. 803-811, 2018. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/8da7/122dcd38e1c15dbebe9740ad65589c64a7f9.pdf>. Acesso em: 25/06/2020.

UCGUL, M.; SAUNDERS, C.; DESBIOLLES, J. The use of computer simulation as a decision-making tool to improve machinery set-up, usage, and performance. In: *Proceedings of the 2019 Agronomy Australia Conference*. 2019. p. 25-29. Disponível em: http://agronomyaustraliaproceedings.org/images/sampled/2019/2019ASA_Saunders_Chris_194.pdf. Acesso em: 01/04/2020.

VIEIRA, J., G., V.; TOSO, M., R.; DA SILVA, J., E., A., R.; RIBEIRO, P., C., C. An AHP-based framework for logistics operations in distribution centers. *International Journal of Production Economics*, v. 187, p. 246-259, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527317300592>. Acesso em: 07/11/2020.

WANG, Y.; ARMSTRONG, R. T.; MOSTAGHIMI, P. Aumento da resolução e recuperação de textura de imagens de micro - CT 2D e 3D com aprendizado profundo. *Water Resources Research*, v. 56, n. 1, pág. e2019WR026052, 2020. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2019WR026052>. Acesso em: 22/01/2021.

WAHAB, S.; BAHAR, N.; RADZI, N. A. An inquiry on knowledge management in third-party logistics companies. *International Journal of Business Innovation and Research*, v. 24, n. 1, p. 124-146, 2021. Disponível em: <https://www.inderscienceonline.com/doi/abs/10.1504/IJBIR.2021.111977>. Acesso em: 04/01/2021.

WARMELINK, H.; KOIVISTO, J.; MAYER, I.; HAMARI, J.; VESA, M. Gamification of the work floor: A literature review of gamifying production and logistics operations. In: *Proceedings of the 51st Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)*. Hawaii International Conference on System Sciences, 2018. Disponível em: https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/122296/Gamification_of_the_work_floor_2018.pdf?sequence=2. Acesso em: 05/11/2020.

WOUDSMA, C.; JAKUBICEK, P.; DABLANC, L. Logistics sprawl in North America: methodological issues and a case study in Toronto. *Transportation Research Procedia*, v. 12, p. 474-488, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146516000892>. Acesso em: 10/11/2020.

XBOX. Controle sem fio Xbox. Disponível em: <https://www.xbox.com/pt-BR/accessories/controllers/xbox-wireless-controller>. Acesso em: 28/11/2020.

XU, Z.; FRANKWICK, L.; RAMIREZ, E. Effects of big data analytics and traditional marketing analytics on new product success: A knowledge fusion perspective. *Journal of Business Research*, v. 69, n. 5, p. 1562-1566, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0148296315004403>. Acesso em: 10/07/2020.

XU, X.; XUEQUN, W.; YIBAI, L.; MOHAMMAD, H. Business intelligence in online customer textual reviews: Understanding consumer perceptions and influential factors. *International Journal of information management*, v. 37, n. 6, p. 673-683, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268401217301378>. Acesso em: 10/07/2020.

YAVAS, V.; OZKAN-OZEN, Y., D. Logistics centers in the new industrial era: A proposed framework for logistics center 4.0. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, v. 135, p. 101864, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1366554519311202>. Acesso em: 07/11/2020.

ZÁHUMENSKÁ, Z.; GAŠPARÍK, J. Supporting the connection the logistics centers to rail network. *Procedia engineering*, v. 192, p. 976-981, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705817327157>. Acesso em: 07/11/2020.

ZHANG, J.; YU, P. S.; LV, Y. Enterprise employee training via project team formation. In: Proceedings of the Tenth ACM International Conference on Web Search and Data Mining. 2017. p. 3-12. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/3018661.3018682>. Acesso em: 04/04/2020.

ZIYADIN, S.; SOUSA R.; MALAYEV K.; NURLANOVA A. The influence of logistics innovations on management of freight-transportation processes. **Polish Journal of Management Studies**, v. 21, 2020. Disponível em: <https://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-66a7a399-9e26-4a37-bb38-4d18182e2abc>. Acesso em: 04/01/2021.

APÊNDICE

Nesse último tópico são explicadas as criações das simulações. Embora tenham sido ilustradas algumas configurações do simulador, essas são as configurações usadas para a criação dos modelos. O uso de imagem foi importante para o esclarecimento e ilustração do que foi feito.

Apêndice A: Simulação de separação em rack utilizando o *miniload*

As simulações desenvolvidas nesse estudo foram criadas considerando o processo logístico de armazenagem. Os dados foram obtidos pelo pesquisador por meio da coleta direta em experiências profissionais obtidas. A primeira simulação deste estudo surgiu da necessidade de verificar se o elevador de palete conhecido como *miniload* melhora a operação de separação de paletes se utilizado em conjunto com empilhadeiras. Os dados utilizados na criação do modelo são apresentados na Tabela 2. As ferramentas utilizadas no simulador foram a criação de paletes, racks, *stages*, transportadores.

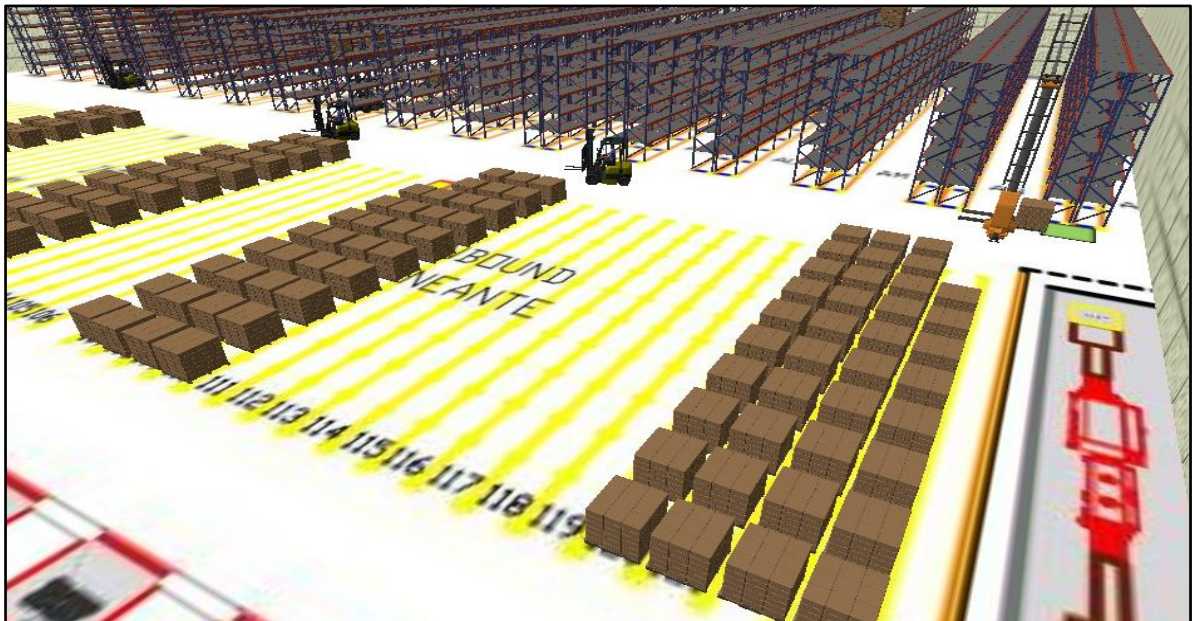
Tabela 2: Dados para a criação do modelo do *miniload*

Descrição	Valores
Quantidade de paletes por carga	40
Tempo para armazenar uma carga (Empilhadeira)	32 minutos
Tempo movimento de pegar palete (Empilhadeira)	triangular (1, 5, 3,)
Tempo movimento de soltar palete (Empilhadeira)	triangular (3, 6, 9)
Tempo para armazenar uma carga (Empilhadeira + miniload)	49 minutos

Fonte: acervo do autor

Nesse modelo existe a comparação entre o sistema normal constituído na retirada dos paletes no *stage* e a movimentação e armazenamento no rack. Esse mesmo cenário foi duplicado e inserido o *miniload*. Os empilhadores fazem suas atividades como no modelo padrão e, conforme a solicitação do *miniload*, o empilhador mais próximo recebe a prioridade para abastecê-lo. Em seguida, o empilhador solicitado é liberado para continuar o que estava fazendo. A Figura 31 ilustra o modelo 3D pronto.

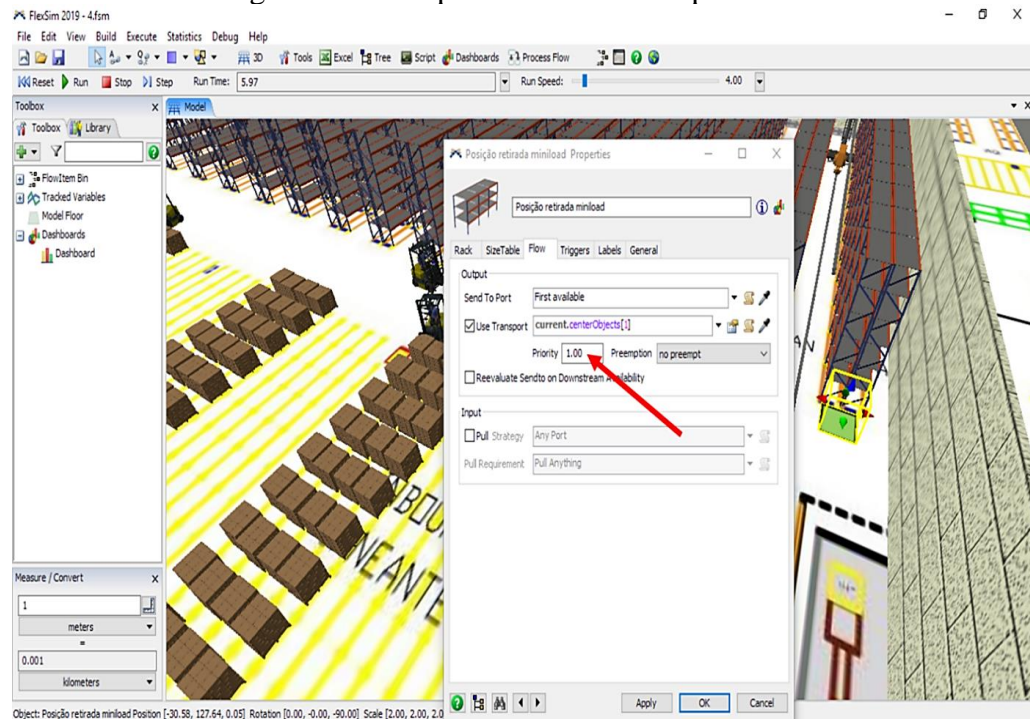
Figura 31: Modelo 3D do *miniload* construído



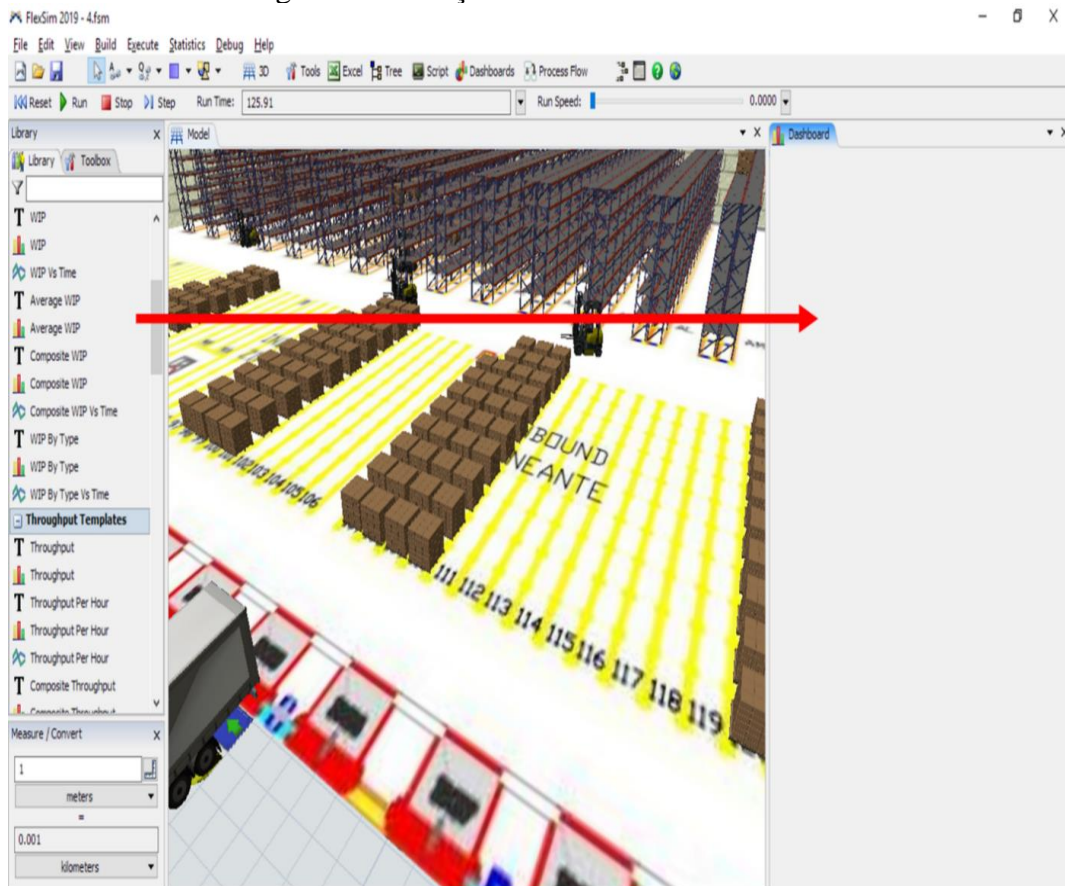
Fonte: tela do Flexsim

A lógica que se destaca nesse modelo é a criação de prioridades. Pelo fato dos operadores que abastecem o *miniload* serem os mesmos que executam outras atividades de armazenamento, é necessário que essa ação seja configurada. Com as conexões do transportador já realizadas, configura-se na aba *flow* o campo *priority*. Esse ajuste existe nas opções de todas as estações que utilizam os transportadores. Quando mais de uma estação divide o mesmo transportador, pode ser criada a prioridade ao inserir valores distintos. Na configuração padrão o valor é 0 e para que exista a prioridade basta colocar 1. E assim, conforme a necessidade. A configuração de priorização é ilustrada na Figura 32.

Figura 32: Criar prioridade nos transportadores



Fonte: tela do Flexsim

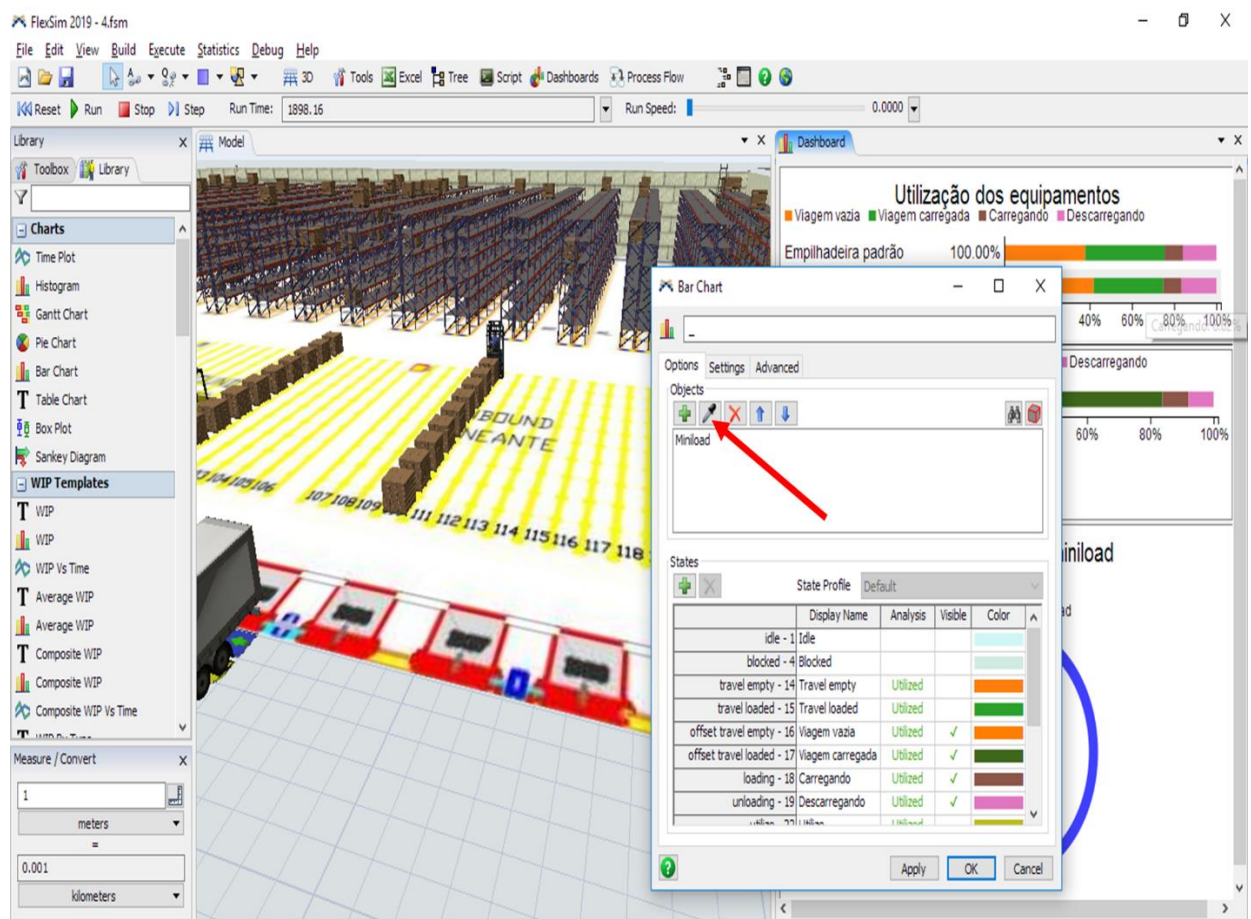
Figura 33: Inserção de *dashboard* no Flexsim

Fonte: tela do Flexsim

Ao fim do desenvolvimento da simulação, uma das formas de análise de dados é o uso de *dashboards*. São painéis que mostram os resultados da simulação de forma gráfica e lógica. Ao abrir o menu do *dashboard*, uma janela com opções de gráficos aparecerá ao lado esquerdo da área de trabalho do simulador. Basta arrastar para o lado direito o gráfico desejado conforme a Figura 33.

Quando o gráfico for inserido abrirá sua tela de configuração. Nela é designado quais serão os *inputs* de dados. Para gráficos mais comuns como o de barras ou pizza usa-se o conta gotas no simulador, para selecionar o objeto ou transportador. Essa etapa é mostrada na Figura 34.

Figura 34: Usando o conta gotas para selecionar origem dos dados



Fonte: tela do Flexsim

Apêndice B: Simulação do uso do braço robô no abastecimento de linhas

Segundo Garcia-Arca, Prado-Prado e Garrido (2020), a redução de custo e a maior facilidade de manuseio tornarão a automatização, eficiência energética e inteligência artificial mais acessíveis e integradas à logística empresarial em pequenas e médias organizações. O braço robô está dentro da categoria de automação e sua utilização é atrativa, pois tende a reduzir o quadro de funcionários e aumentar a produtividade, (FONTANELLI *et. al*, 2020).

A simulação buscou compreender se o braço robô inserido em uma linha de montagem de kits poderia substituir um operador humano. O modelo representou um processo de montagem que possuem três tipos de linhas, cada linha com seu respectivo material. Na forma convencional é colocado um palete na frente de cada linha e um operador faz a transferência. No estudo o sistema se mantém o mesmo com exceção de que o robô faz a transferência dos paletes para as linhas. A Tabela 3 apresenta os dados utilizados na construção do modelo.

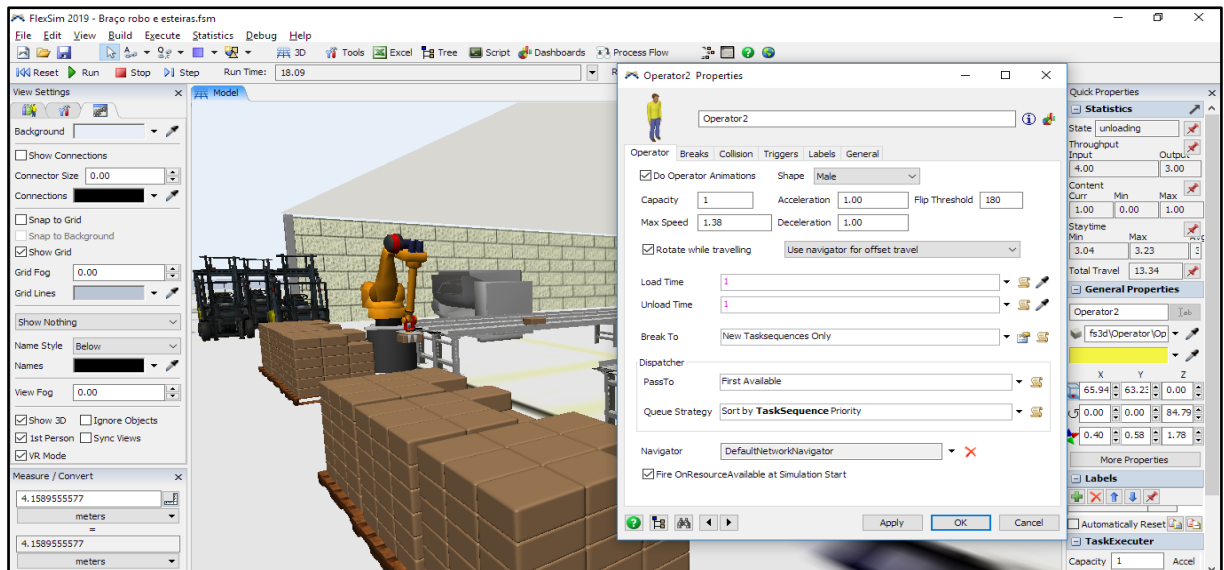
Tabela 3: Dados usados no modelo do braço robô

Descrição	Valores
Distância dos paletes até a esteira	1.5 metro
Capacidade de mover por vez (Operador)	1
Velocidade média de deslocamento (Operador)	1.38 metros por segundo
Tempo para pegar a caixa(Operador)	1 Segundo
Tempo para soltar a caixa (Operador)	1 Segundo
Capacidade de mover por vez (Robô)	1
Velocidade média de deslocamento (Robô)	5 metros por segundo
Tempo para pegar a caixa(Robô)	0.40 Segundo
Tempo para soltar a caixa (Robô)	0.40 Segundo

Fonte: acervo do autor.

Inserir os valores no operador virtual começa pelo duplo clique sobre ele que abrirá suas configurações. Valores inseridos conforme a Figura 35.

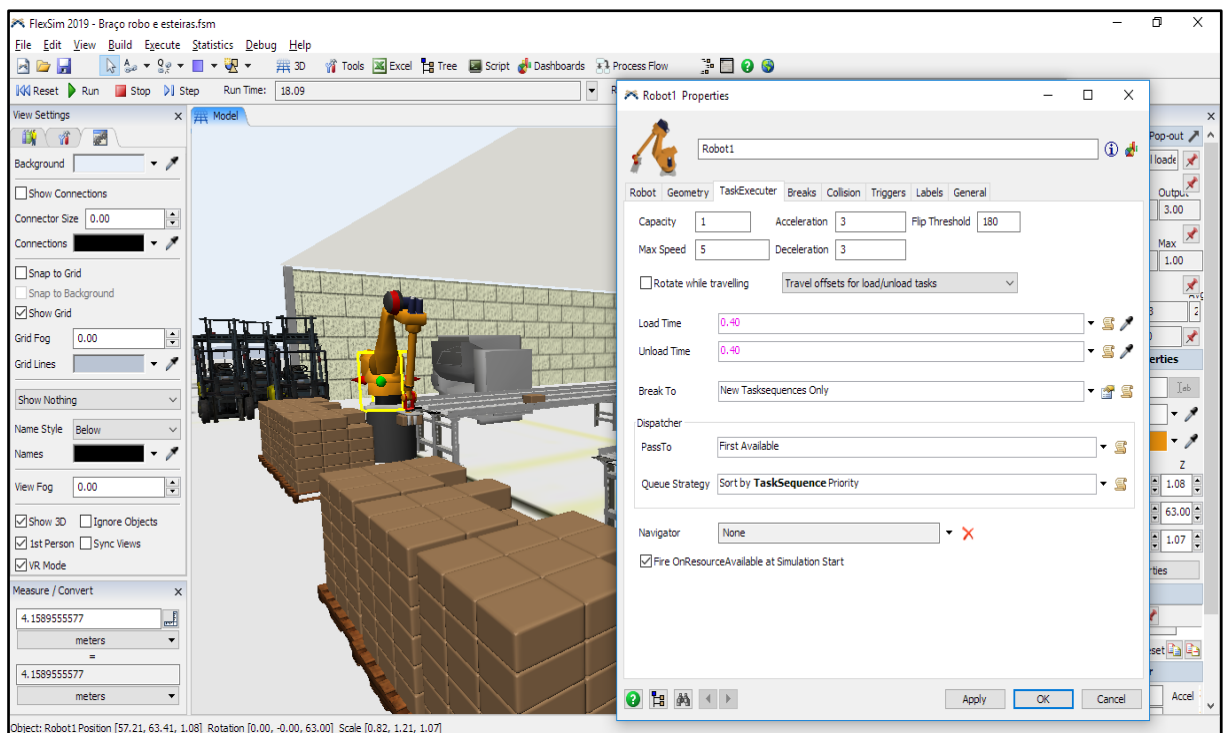
Figura 35: Configuração do operador



Fonte: tela do Flexsim

Semelhante à maneira de configurar o operador é a configuração do braço robô conforme a Figura 36. O resultado já em 3D da simulação criada é apresentado na Figura 37.

Figura 36: Configuração do braço robô



Fonte: tela do Flexsim

Figura 37: Modelo 3D do braço robô pronto

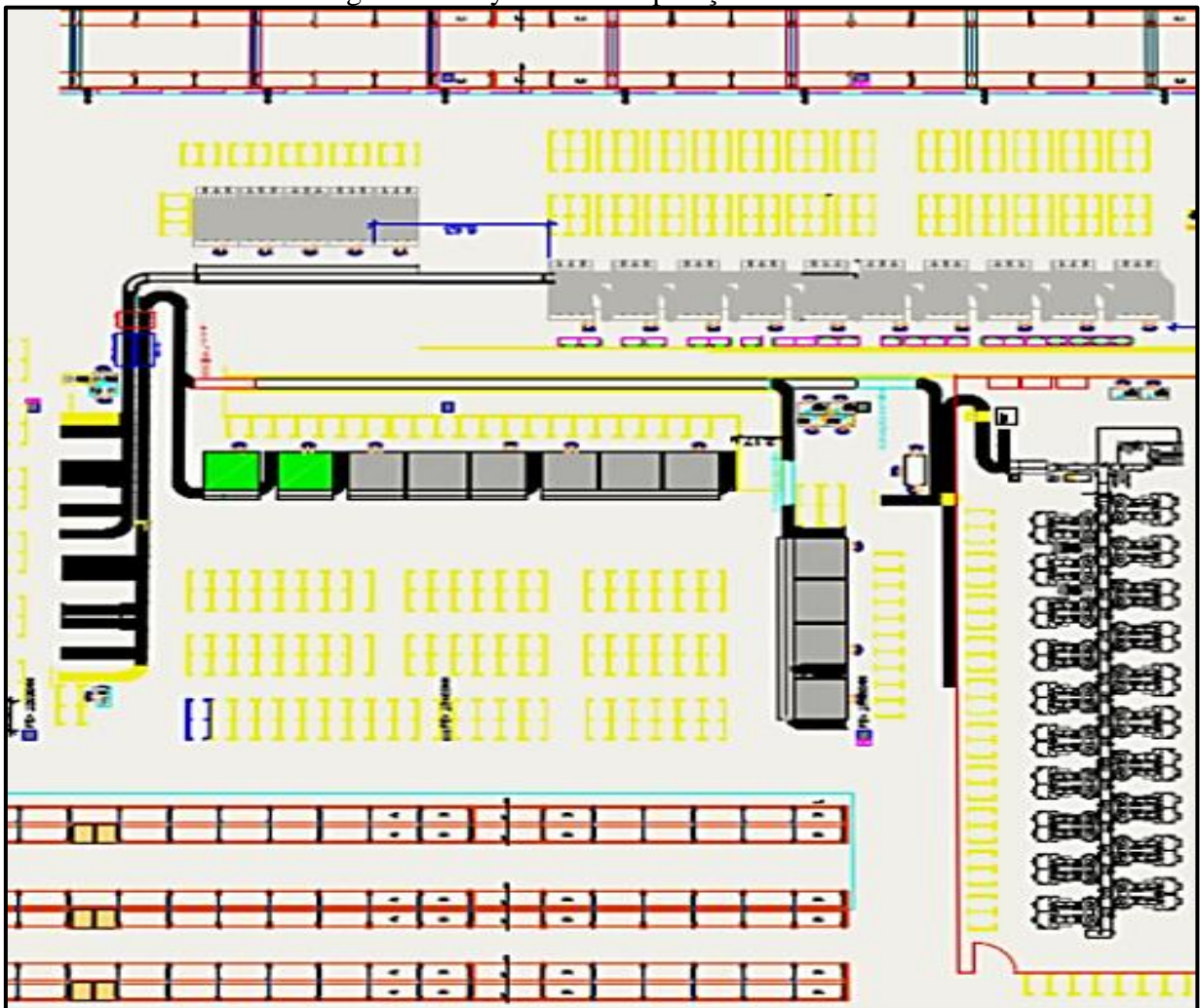


Fonte: tela do Flexsim

Apêndice C: Uso do simulador para conversão de *layout 2D* em *layout 3D*

O *layout* além de ilustrar as divisões e dimensões de um local, também determina o que são cada uma dessas partes. Por exemplo, na logística: setor de carga, separação e descarga. Antes mesmo de uma unidade produtiva ser construída, já são calculadas as dimensões em escala menor de cada setor. Esse desenvolvimento preliminar busca minimizar distâncias, agilizar o fluxo dos processos e criar mecanismos de diminuição de acidentes, (MIKHAIL e SADLLAH, 2020). A Figura 38 apresenta o *layout 2D* da operação trabalhada neste estudo.

Figura 38: Layout 2D da operação estudada



Fonte: acervo do autor

A recriação do cenário tem por característica a configuração das dimensões dos objetos, máquinas e pessoas em escala menor. As dimensões e quantidades utilizadas estão explícitas na Tabela 4.

Tabela 4: Dimensão e quantidades para a criação do cenário 3D

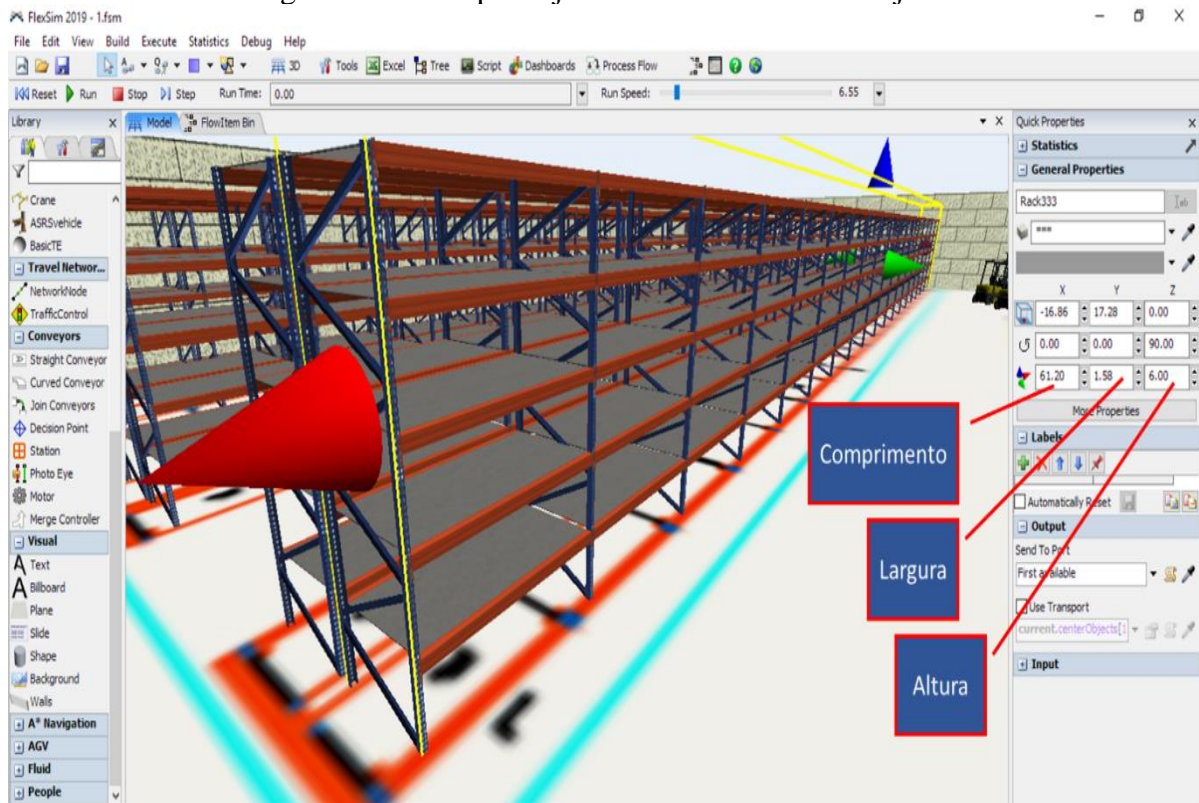
Descrição	Valores
Quantidade de operadores	32
Quantidade de porta paletes	9
Quantidade de ilhas de separação	4
Comprimento total das esteiras	220 metros
Altura dos porta paletes	7 metros
Profundidade dos porta paletes	1,10 metro
Espaçamento entre colunas dos porta paletes	2,50 metros
Altura do palete com as caixas	1,10 metros
Altura das ilhas de separação	2,50 metros
Distância do chão até o teto	8 metros
Tamanho do <i>layout</i>	9000 m2

Fonte: acervo do autor

Existem algumas formas diferentes de ajustar as dimensões do objeto no simulador. A mais rápida é apresentada após a seleção do objeto no canto direito da tela. Os principais ajustes são o de coordenadas de posicionamento, rotação e dimensões. No campo de dimensão, a letra X representa o comprimento, a Y a largura e a Z a altura, conforme a Figura 39.

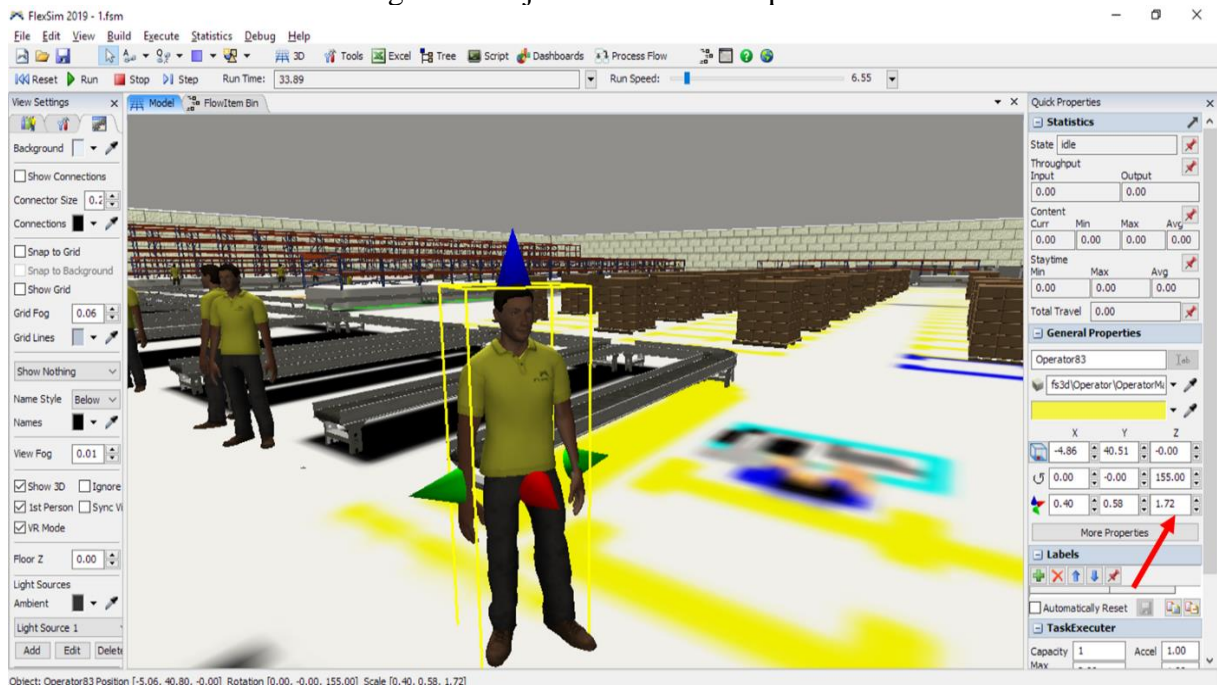
Nesse estudo operadores possuem a altura média de 1,72m e o valor é inserido no campo Z conforme a Figura 40.

Figura 39: Menu para ajustar as dimensões dos objetos



Fonte: tela do Flexsim

Figura 40: Ajuste da altura do operador

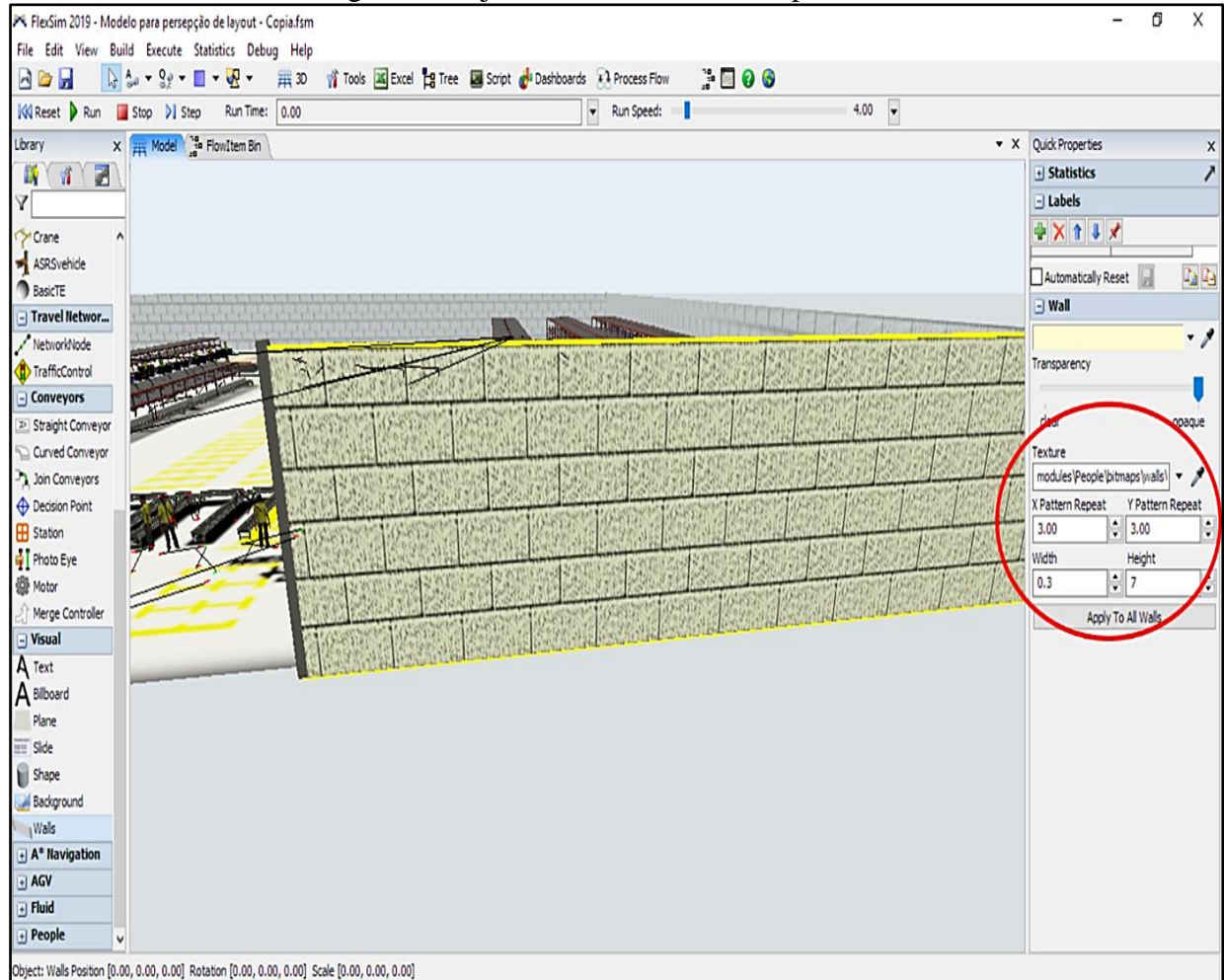


Fonte: tela do Flexsim

Ao clicar em uma parede inserida na área de construção do simulador, ajusta-se a altura, espessura, distanciamento entre tijolos, transparência, textura e cor. As configurações utilizadas

nesse estudo são mostradas na Figura 41.

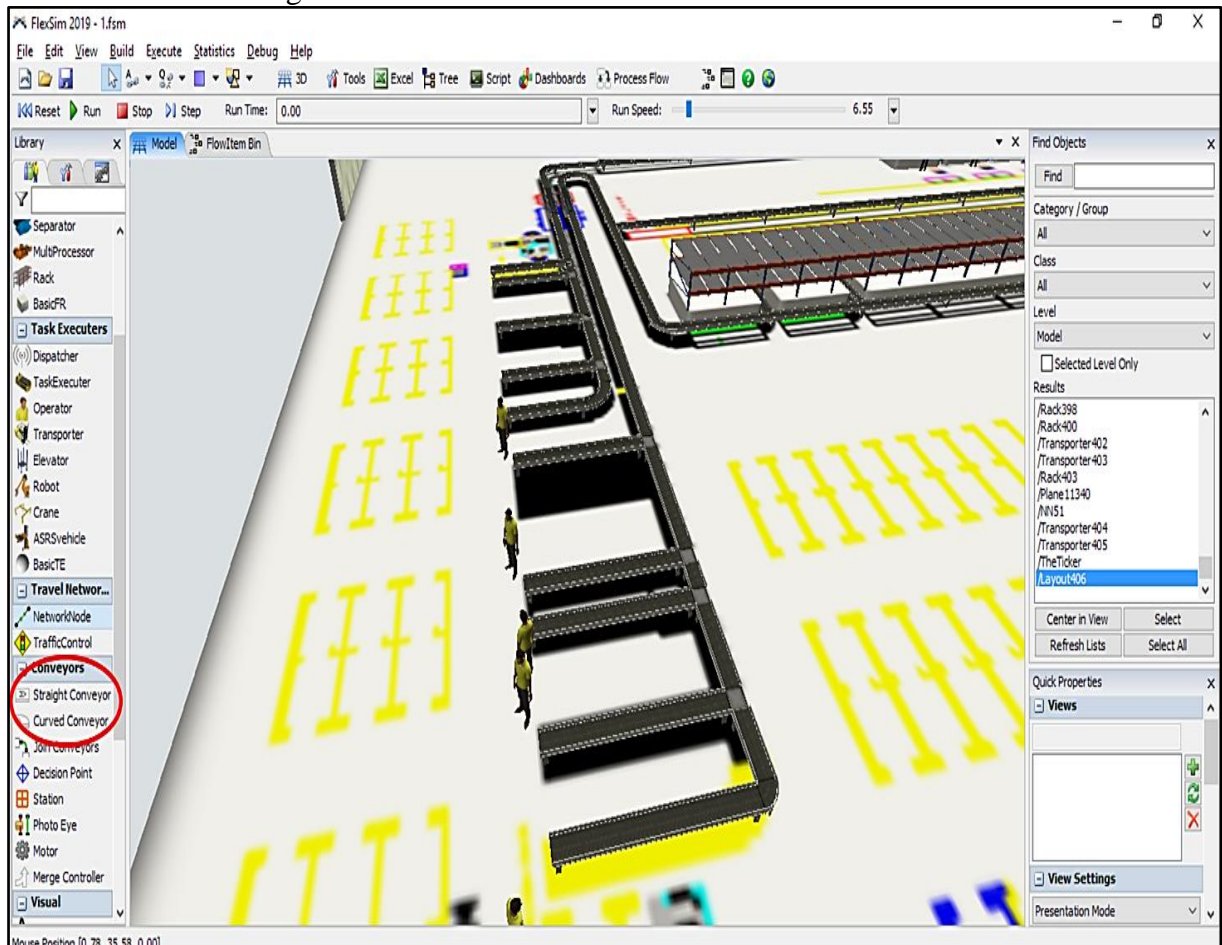
Figura 41: Ajuste das dimensões das paredes



Fonte: tela do Flexsim

O simulador possui um módulo chamado *convexo*, que nada mais é do que a esteira. O caminho para acessar as esteiras é no menu à esquerda, biblioteca, *conveyors* e *straight conveyor*. Quando inserida na área de trabalho as dimensões são padrão. Essas dimensões podem ser modificadas de forma semelhante aos últimos objetos abordados. As esteiras curvadas são ajustadas manualmente ou utilizando a conexão *curved conveyor*, listada no menu abaixo a anterior. A Figura 42 apresenta o local dessas duas ferramentas.

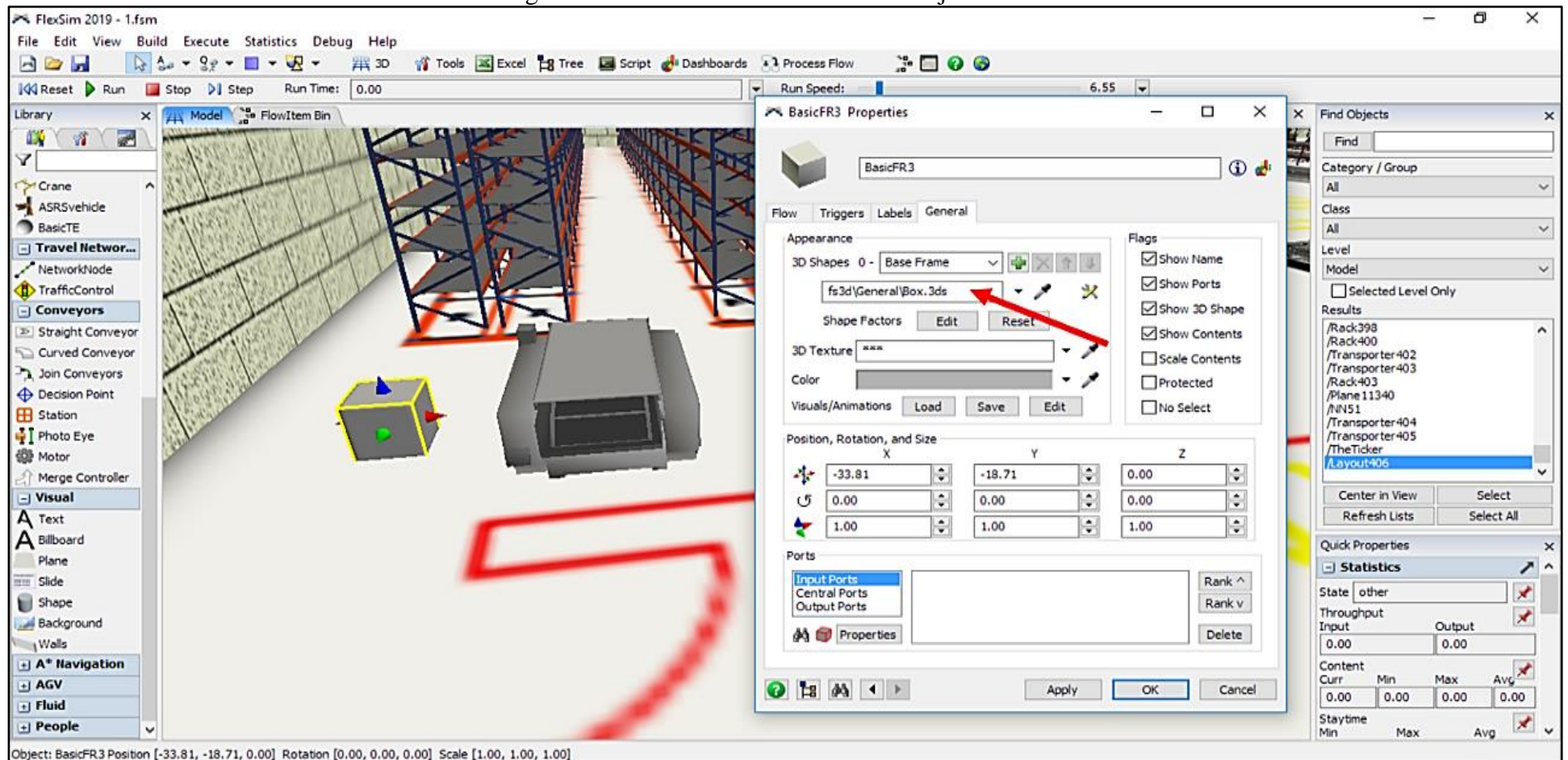
Figura 42: Local das ferramentas esteiras no simulador



Fonte: Tela do Flexsim

O último passo para a criação do *layout* 3D é colocar as máquinas. O simulador possui uma biblioteca com algumas máquinas disponíveis. Se o desenvolvedor quiser outro tipo de imagem 3D precisará buscar em *sites da internet* arquivos com a extensão .3ds; .wrl ou .ac. Depois de realizar o *download* da forma 3D desejada, o objeto *BasicFr* precisa ser inserido na área de edição e em seu menu aba *general*, *appearance* e 3D *shape* é selecionada a forma 3D desejada conforme a Figura 43.

Figura 43: Modificando a forma de um objeto 3D



Fonte: tela do Flexsim

O resultado das configurações e disposição dos objetos é ilustrado na Figura 44.

Figura 44: Layout 3D recriado no Flexsim



Fonte: tela do Flexsim