



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO

GUILHERME RODOLFO NEVES ALMEIDA DE BARROS PADILHA

**DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE GESTÃO PARA OPERAÇÕES
LOGÍSTICAS NO VAREJO EM CENTRAIS HÍBRIDAS DE DISTRIBUIÇÃO VIA
SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS**

Recife

2020

GUILHERME RODOLFO NEVES ALMEIDA DE BARROS PADILHA

**DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE GESTÃO PARA OPERAÇÕES
LOGÍSTICAS NO VAREJO EM CENTRAIS HÍBRIDAS DE DISTRIBUIÇÃO VIA
SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Profissional em Engenharia de produção da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em Engenharia de Produção.

Área de concentração: Pesquisa Operacional.

Orientador: Prof. Dr. Márcio José das Chagas Moura.

Recife
2020

Catálogo na fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

P123d Padilha, Guilherme Rodolfo Neves Almeida de Barros.
Desenvolvimento de um modelo de gestão para operações logísticas no varejo em centrais híbridas de distribuição via simulação de eventos discretos / Guilherme Rodolfo Neves Almeida de Barros Padilha. - 2020.
111 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Márcio José das Chagas Moura.
Dissertação (Mestrado Profissional) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação Profissional em Engenharia de Produção, 2020.
Inclui Referências.

1. Engenharia de Produção. 2. Centro de distribuição. 3. *Crossdocking*. 4 *Picking*. 5. Simulação de eventos discretos. 6. Alocação de recursos. 7. Análise de decisão. I. Moura, Márcio José das Chagas (Orientador). II. Título.

UFPE

658.5 CDD (22. ed.)

BCTG/2021-82

GUILHERME RODOLFO NEVES ALMEIDA DE BARROS PADILHA

**DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE GESTÃO PARA OPERAÇÕES
LOGÍSTICAS NO VAREJO EM CENTRAIS HÍBRIDAS DE DISTRIBUIÇÃO VIA
SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Profissional em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em Engenharia de Produção.

Aprovada em: 18/11/2020.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Márcio José das Chagas Moura (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Profa. Dra. Ísis Didier Lins (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Paulo Renato Alves Firmino (Examinador Externo)
Universidade Federal do Cariri

AGRADECIMENTOS

À Deus, por permitir que eu esteja presente em minha família, a qual me proporciona todo o apoio para o alcance dos meus sonhos.

À minha esposa, Priscilla, companheira fiel. É quem sempre me faz entender o lado bom das coisas e quem tanto acredita no meu potencial.

Às minhas duas filhas, Valentina e Helena, que me permitiram vivenciar a felicidade de ser Pai e por serem a principal razão de meus esforços na vida.

À minha mãe, Tereza Neves, a mulher mais incrível que eu pude conhecer! Capaz de fazer o improvável acontecer pela felicidade dos seus três filhos.

Aos meus irmãos, Gabriela e Matheus, seres humanos maravilhosos e motivos de grande orgulho para mim.

Aos meus colegas da turma II de 2018 do PPGEP PRO da UFPE, por juntos trilharmos uma bela jornada.

Aos meus professores do PPGEP da UFPE, os quais tive a honra de trabalhar e receber imensurável conhecimento.

Ao meu professor orientador, Márcio Moura, pela acolhida, paciência e confiança, ao longo deste trabalho.

Ao meu amigo, Lucas Nascimento, pelo enorme apoio prestado no decorrer deste projeto, representando o CEERMA da UFPE.

Aos meus colegas de empresa, amigos e toda minha equipe, por vibrarem com cada conquista alcançada durante as etapas vencidas neste mestrado.

Ao Michael Machado, diretor da FlexSim do Brasil, pela licença temporária da versão full do sistema, sendo fundamental para o desenvolvimento do modelo de simulação apresentado neste trabalho.

RESUMO

Este estudo tem como ponto de partida um Centro de Distribuição presente no nordeste brasileiro, responsável pelo abastecimento de produtos em uma rede calçadista com 60 lojas físicas, mais o *e-commerce* e que atua de maneira híbrida em seus processos utilizando, de forma simultânea, os modelos de *crossdocking* e *picking*. Desta forma, são exigidos esforços operacionais diferentes, devido às características de cada um. Além disso, o calendário comercial da empresa resulta em uma demanda logística extremamente variável e de rápida mutação, para a qual o CD deve apresentar flexibilidade operacional de realizar a alocação assertiva de recursos e com isso minimizar gargalos que possam prejudicar o andamento da operação. Portanto, o foco deste trabalho será desenvolver um modelo de gestão, baseado na simulação de eventos discretos, em que não serão utilizadas as médias de tempo das atividades medidas, mas sim variáveis aleatórias para simular um sistema dinâmico, onde cada replicação irá gerar resultados de tempo e de produção diferentes, via *software* Flexsim. O sistema foi testado em 3 cenários reais e, após a sua validação, a ferramenta será utilizada para ajudar a encontrar as melhores soluções de problemas para o CD e fomentar a gerência na tomada de decisões. Além disso, busca-se apresentar mais dois cenários futuros, no qual o primeiro será diminuir o percentual de entrada dos pedidos como *crossdocking* e aumentar a reposição automática da venda através do *picking* e o segundo será verticalizar a área de estocagem, com estruturas porta-paletes mais altas, utilizando melhor a cubagem disponível no armazém. Todos os resultados dos cenários existentes e dos cenários propostos foram validados, possibilitando o melhor balanceamento da mão-de-obra disponível, mantendo assim a regularidade da operação. Bem como, a definição de qual momento deve-se contratar pessoas ou compensar horas extras e férias. A utilidade deste modelo de gestão pode se desdobrar para vários estudos, operacionais ou estratégicos, como por exemplo: planos operacionais de mitigação de curto prazo, definição de momentos para o *start* de novos modelos de distribuição e análise de investimentos em infraestrutura. Além disso, diversos tipos de recursos que compõem uma operação logística, dentro ou fora da rede varejista, podem compor *cases* baseados em um sistema de simulação, utilizado como apoio à decisão e aplicado para modelos de gestão.

Palavras-chave: Centro de distribuição. *Crossdocking*. *Picking*. Simulação de eventos discretos. Alocação de recursos. Análise de decisão.

ABSTRACT

This study starts from a Distribution Center present in northeastern Brazil, responsible for supplying products in a footwear chain with 60 physical stores, plus e-commerce, and which acts in a hybrid way in its processes using, simultaneously, the crossdocking and picking models. Thus, different operational efforts are required, due to the characteristics of each one. In addition, the company's commercial calendar results in a rapidly changing and logistical demand, so a CD must have operational flexibility to make an assertion of resources and thereby minimizing bottlenecks that hinder the progress of the operation. Therefore, the focus of this work will be to develop a management model, based on the simulation of discrete events, in which it will not be used as a time standard for the measurements, but rather random variables to simulate a dynamic system, where each replication will generate results time and production, through the Flexsim software. The system was tested in 3 real scenarios and, after its validation, a tool used to help find the best problem solutions for the CD and encourage choice in decision making. In addition, seeking to present two more futures, the first scenario will not be to decrease the percentage of incoming orders as crossdocking and increase the automatic settlement of the sale through picking and the second will be to verticalize the storage area, with pallet structures higher, making better use of the cubing available in the warehouse. All the results of the existing scenarios and the proposed scenarios were validated, enabling the best balance of the available labor, thus maintaining a regular operation. As well as the definition of when to hire people or compensate for overtime and vacations. The usefulness of the management model can unfold for various studies, operational or strategic, such as: short-term mitigation operational plans, definition of moments for the beginning of new distribution models and analysis of investments in infrastructure. In addition, several types of resources that make up a logistical operation, inside or outside the fiscal network, can compose cases based on a simulation system, used as decision support and technique for management models.

Keywords: Distribution center. Crossdocking. Picking. Discrete event simulation. Resource allocation. Decision analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Gestão logística de um centro de distribuição flexível	17
Figura 2 - Relação Volume x Variedade nos modelos de distribuição de logística	20
Figura 3 - Integração da cadeia de suprimentos	26
Figura 4 – Setores da logística impactados hierarquicamente pelo planejamento	27
Figura 5 - Ponto de equilíbrio entre os processos Push e Pull de demanda	31
Figura 6 - Processos de crossdocking e picking em um CD híbrido.....	32
Figura 7 - Interações entre sistema de logística e características da loja e do produto	35
Figura 8 - Exemplo de uma árvore de decisão com dados reais desta pesquisa.....	44
Figura 9 - Etapas do estudo de modelagem.....	47
Figura 10 - Fluxo de processos para a modelagem na operação do CD Varejista	49
Figura 11 - Volume da operação de recebimento (em caixas) nos anos 2018 e 2019.....	51
Figura 12 - Volume da operação de picking (em itens) nos anos de 2018 e 2019.....	53
Figura 13 - Volume da operação de expedição (em caixas) nos anos de 2018 e 2019	55
Figura 14 – Fluxo macro de processos no CD para o atendimento da rede calçadista	67
Figura 15 - Fluxo operacional no layout do CD modelado no Flexsim	69
Figura 16 - Layout do recebimento modelado no Flexsim.....	70
Figura 17 - Layout do picking modelado no Flexsim	71
Figura 18 - Layout da expedição modelado no Flexsim	73
Figura 19 - Etapas do fluxo da modelagem.....	77
Figura 20 - Gráfico de Dispersão dos Tempos Atividade no Recebimento	79
Figura 21 - Gráfico de Dispersão dos Tempos Atividade no Recebimento	80
Figura 22 - Gráfico de Dispersão dos Tempos Atividade no Picking.....	80
Figura 23 - Gráfico de Dispersão dos Tempos Atividade na Expedição.....	81
Figura 24 - Árvore de decisão com os três cenários reais obtidos na simulação	83
Figura 25 - Validação da Volumetria de Recebimento nos Cenários Reais.....	85
Figura 26 - Validação da Volumetria de Picking nos Cenários Reais.....	86
Figura 27 - Validação da Volumetria de Expedição nos Cenários Reais.....	87
Figura 28 - Layout no Flexsim da Verticalização na área de Picking.....	89
Figura 29 - Gráfico de Utilização dos Endereços de Picking da seção Feminino.....	90
Figura 30 - Mão-de-obra do Picking em um dia de trabalho.....	91
Figura 31 - Produção do Picking após a Verticalização.....	91
Figura 32 - Resultado na Expedição após a Verticalização do Picking	92
Figura 33 - Produtividade com utilização de 50% no picking e 50% no crossdocking	93
Figura 34 - Comportamento dos Endereços 50% de volumes no Picking	94
Figura 35 - Produtividade do Picking com 50% de volumes	95
Figura 36 - Produtividade com 50% de volumes no picking e 50% no crossdocking	96
Figura 37 - Resultado com utilização de 50% no picking e 50% no crossdocking.....	96
Figura 38 - Inputs em cenário real e impactos em cenários futuros no CD	98
Figura 39 - Produtividade do recebimento no cenário real de média demanda	99
Figura 40 - Produtividade do Picking no Cenário de Média Volumetria.....	99
Figura 41 - Produtividade da Expedição no Cenário de Média e Baixa Volumetria	100

Figura 42 - Produtividade da Expedição nos Cenários de Alta Volumetria e Futuros.....	101
Figura 43 - Uso da MO na expedição em um cenário real de média volumetria	101
Figura 44 - Volumes expedidos diariamente pelo CD	102

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados coletados da operação de recebimento nos anos 2018 e 2019	50
Tabela 2 - Dados coletados da operação de picking nos anos 2018 e 2019	52
Tabela 3 - Dados coletados da operação de expedição nos anos de 2018 e 2019	54
Tabela 4 - Resultados para o estudo de tempos da área de Recebimento	61
Tabela 5 - Resultados para o estudo de tempos da área de Picking	62
Tabela 6 - Resultados para o estudo de tempos da área de Expedição.....	63
Tabela 7 - Resultados do teste de aderência para o recebimento	64
Tabela 8 - Resultados do teste de aderência para o picking	64
Tabela 9 - Resultados do teste de aderência para a expedição	64
Tabela 10 - Ocupação do picking (em pares de calçados)	71
Tabela 11 - Ocupação do endereçamento na armazenagem do picking	72
Tabela 12 - Quantidades de lojas por rota de embarque.....	73
Tabela 13 - Horários de Funcionamento do CD e Flexsim	74
Tabela 14 – Indicadores Empíricos de Eficiência no Centro de Distribuição.....	88

LISTA DE SIGLAS

CD	Centro de distribuição
COVID-19	Corona vírus
E-commerce	Comércio eletrônico
ERP	Enterprise resource planning ou planejamento dos recursos da empresa
FEFO	First expire first out ou primeiro que expira primeiro que sai
FIFO	First in first out ou primeiro que entra primeiro que sai
HE	Hora Extra
LIFO	Last in first out ou último que entra primeiro que sai
M ²	Metros quadrados
Open GL	Open graphics library
PBR	Paleta padrão brasileiro (Tamanho 1m x 1,2m)
RFID	Radio frequency identification ou identificação por rádio frequência
SAD	Sistema de apoio à decisão
SIG	Sistema de informações gerenciais
SLA	Service level agreement ou nível de serviço acordado
SKU	Stock keep unit ou Unidade mantida em estoque
TMS	Transportation management system ou sistema de gerenciamento de transportes
WMS	Warehouse management system ou sistema de gerenciamento de armazém
3D	Terceira dimensão

LISTA DE SÍMBOLOS

Q_{uso}	Quantidade de Recursos em uso
Q_{disp}	Quantidade de Recursos Disponível
\leq	Menor ou Igual
n	Número mínimo de ciclos que devem ser cronometrados
S	Desvio padrão amostral das cronometragens colhidas
ϵ	Precisão, ou seja, a variação admissível do tempo médio real em relação à média obtida na amostra, com a confiança desejável.
T	Número obtido na tabela da distribuição t-student com $n - 1$ graus de liberdade
\bar{x}	Média Amostral
C++	linguagem de programação compilada multi-paradigma

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	14
1.2	DESCRIÇÃO DO PROBLEMA	16
1.3	JUSTIFICATIVA	19
1.4	OBJETIVOS	22
1.4.1	Objetivo Geral	22
1.4.2	Objetivos Específicos	23
1.4.3	Organização da Dissertação	23
2	REFERENCIAL TEÓRICO E REVISÃO DA LITERATURA	25
2.1	GESTÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS	25
2.2	LOGÍSTICA	29
2.3	PESQUISA OPERACIONAL E SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS	36
2.4	ANÁLISE DE DECISÃO	43
3	METODOLOGIA	46
3.1	ESTUDO DE TEMPOS	47
3.1.1	Registro das Informações necessárias	48
3.1.1.1	Área de Recebimento	49
3.1.1.2	Área de <i>Picking</i>	51
3.1.1.3	Área de Expedição	53
3.1.2	Divisão da Operação em Elementos	55
3.1.2.1	Área de Recebimento	55
3.1.2.2	Área de <i>Picking</i>	56
3.1.2.3	Área de Expedição	57
3.1.3	Coleta de Dados	57
3.1.3.1	Determinação e Verificação do Número de Ciclos	58
3.1.3.2	Cronoanálise	59
3.2	TESTES DE ADERÊNCIA	63
4	MODELO DE SIMULAÇÃO	65
4.1	DEFINIÇÃO E PLANEJAMENTO DO PROBLEMA	65
4.2	FORMULAÇÃO E CONSTRUÇÃO DO MODELO	67
4.2.1	Modelagem da Área Macro de Recebimento	69
4.2.2	Modelagem da Área Macro de <i>Picking</i>	70

4.2.3	Modelagem da Área Macro de Expedição	72
4.3	TESTAGEM E IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO	74
4.3.1	Validação de Cenários Reais	81
4.4	CENÁRIOS FUTUROS	88
4.4.1	Verticalização do <i>Picking</i>	88
4.4.2	Aumento da Representatividade do <i>Picking</i> e Redução do <i>Crossdocking</i>	92
5	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	97
6	CONCLUSÃO	103
	REFERÊNCIAS	107

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta o contexto em que o trabalho está inserido, abordando áreas da cadeia de suprimentos tanto no varejo, quanto na logística e as dinâmicas que envolvem as relações entre elas. Entre as considerações reais do caso prático, também estão conceitos que aparecem frequentemente na literatura e que sustentam o *modus operandi* da distribuição de produtos na empresa. Além da motivação que levou à realização deste estudo para solucionar os problemas enfrentados na operação.

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O mercado varejista tem por sua essência a forte oscilação da demanda dentre aos demais que compõem a cadeia de suprimentos. Fatores como a redução do ciclo de vida dos produtos e a forte concorrência entre as empresas aumentam a necessidade de agilidade em todas as áreas corporativas (PAGANIN et al., 2015). Com a logística cada vez mais integrada às estratégias de distribuição de produtos, apresentar soluções inovadoras irão garantir o melhor abastecimento de acordo com o perfil de consumo desejado (MARTINS et al., 2018).

Michael Porter (2009) afirma que a dificuldade da manutenção comercial em determinado setor varejista está ligada diretamente aos limitados canais de distribuição e ao grau de ocupação dos atuais concorrentes. Em muitos casos práticos, esta barreira é tão elevada que, para superá-la, se faz necessária a criação dos próprios canais de distribuição.

O sucesso de uma organização está na maneira como os produtos ou serviços são entregues aos seus clientes, atendendo as suas expectativas, no menor tempo possível e com valor agregado incluso. O grande desafio das empresas se volta à busca da inovação e de tecnologia do produto. E, ainda, o de buscar a integração, a flexibilidade e a diversificação dos produtos/serviços (MAÑAS, 2010).

O resultado de todo o esforço do sistema logístico é o serviço ao cliente (LAMBERT; STOCK; ELLRAM, 1998). Assim, pode-se dizer que o cliente deve ser visto como a criação das utilidades de tempo e lugar, o que equivale a considerar que produtos não têm valor, se não estiverem disponíveis para o cliente na hora e no lugar desejado (BOWERSOX et al., 2014; CHRISTOPHER, 1992; LAMBERT et al., 1998).

O entendimento da proximidade de estoque ao eixo de consumo, para reduzir o tempo de entrega, traz consigo outros conceitos operacionais que antes estavam nas fábricas e que se

focaram no desenvolvimento da gestão de armazéns de produtos acabados. Estes armazéns são chamados de Centro de Distribuição (CD) e possuem infraestrutura apropriada para o recebimento de grandes cargas unitizadas e o posterior fracionamento delas, através da abertura das caixas com o *picking* de produtos (NASCIMENTO; DOS REIS; XAVIER; REZENDE; SABINO, 2018).

Adicionalmente, é importante utilizar a integração logística ou a gestão da cadeia de suprimentos com a adoção de CDs para descentralizar operações e fazer a gestão do pedido mais próxima do ponto de venda, reduzindo o tempo de entrega. Estas instalações também funcionam como passagem direta de produtos, sem abertura das caixas, através do processo chamado de *crossdocking*. (FERNANDES et al., 2011).

A operação de *crossdocking*, segundo Chopra e Meindl (2016), foi utilizada pioneiramente pela empresa Walmart nos Estados Unidos. A ideia era fazer a rápida passagem de produtos pelo CD, oriundos dos fornecedores, diretamente para as lojas sem que houvesse a abertura das caixas. Este processo foi adotado como modelo de distribuição no mundo todo. Além disso, o Walmart já tinha como estratégia a abertura de depósitos para estocagem próximos às lojas de maior giro, facilitando assim a reposição de produtos pelo processo de separação ou *picking*.

De acordo com Cauchick-Miguel e outros (2012), esta é uma pesquisa quantitativa de carácter explicativo direto, ou seja, o foco dela será identificar, de acordo com os modelos de distribuição *crossdocking* e *picking*, qual o melhor balanceamento da operação de forma a garantir satisfatoriamente o abastecimento dos estoques nos pontos de venda. Com isso, se permite um melhor entendimento do porquê ocorrem determinados fenômenos, quando se opta por um, por outro ou pelos dois modelos operacionais ao mesmo tempo (VERGARA, 2014).

Portanto, técnicas de simulação de eventos discretos foram utilizadas neste trabalho, pois elas permitem estimar a variação da operação no decorrer do tempo, em suas previsões. Os métodos de simulação são, geralmente, considerados como ponto de partida para sistemas de modelagem envolvendo altos níveis de incerteza, que não podem ser ignorados, ou “calculados sobre a média” nos resultados (ALLEN, 2011).

Para isso o *software* Flexsim serviu para simular a operação do CD, sob a ótica de trabalhar mais eficiente, com o menor custo possível e com taxa de utilização de equipamentos próxima ao máximo. Bem como, sob a perspectiva de que a validação do modelo estudado depende da otimização do sistema refletindo a realidade, para que se possa criar uma base como

ponto de partida para testar cenários e, com isso, no modelo de gestão que será apresentado, ter um sistema de apoio a decisão (SAD) gerencial para a operação (PIAO; YAO, 2017).

1.2 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Um dos principais desafios na logística de mercado, segundo Kotler e Keller (2013), envolve o planejamento de sua infraestrutura para o suprimento da demanda e a definição de suas capacidades operacionais de produção. Ou seja, é ter a flexibilidade necessária para atender às exigências dos clientes de modo que as lojas percebam o mínimo possível a oscilação das programações operacionais.

Portanto, não existem operações no varejo que apresentem redução de custos com o melhoramento do nível de serviço percebido pelo cliente, sendo uma relação direta na qual o desafio para a logística é, no mínimo, manter os custos operacionais previstos (KOTLER et al., 2013).

O conceito de planejamento agregado surge como fundamental para o atendimento da demanda, combinando custos e despesas na busca pela maximização da utilização dos recursos disponíveis (Moreira, 2008). A previsão da demanda deve refletir-se na disponibilidade da estrutura que será utilizada em determinado período, para que o seu atendimento ocorra por completo (CORRÊA; CORRÊA, 2012).

Bem como todas as alternativas de influência na demanda devem ser previstas, tais como: propaganda, promoções, reservas e desenvolvimento de produtos (Moreira, 2008). Por outro lado, ações para influenciar a demanda devem ser realizadas, como também os custos delas devem ser mensurados, por exemplo: subcontratação e demissão de funcionários, horas extras ou redução de jornada de trabalho e estocagem de produtos (Moreira, 2008).

De acordo com Chopra e Meindl (2016), utilizar um CD como posto avançado para a redução de *lead time* de atendimento às lojas é uma premissa básica nas estratégias adotadas pelas grandes redes varejistas, que cada vez mais buscam o ressuprimento de seus pontos de venda no nível exato de tempo acordado.

Para Pibernik (2006) a entrega assertiva de produtos nas lojas se torna cada vez mais estratégica para a garantia de experiências positivas dos clientes. Desta forma, a venda só irá acontecer se o produto estiver na gôndola da loja, sendo a principal razão de ruptura de estoque quando ele não está; este é o termo empregado quando há falta de produtos para a venda e ocorre devido à má alocação ou através de falhas na distribuição dos produtos dentro da rede

varejista. Este fenômeno pode até se estender por todas as etapas da cadeia de suprimentos por conta de erros na alocação de pedidos pela área de planejamento, como também devido a falhas na priorização da logística de abastecimento (PIBERNIK, 2006).

Na logística de varejo, as características dos dois formatos de distribuição, *crossdocking* e *picking*, impactam diretamente na composição dos estoques nas lojas. Por isso, utilizar um modelo de CD que opere de forma flexível, com os dois formatos de distribuição, tem impactos em variáveis operacionais internas (CHOPRA et al., 2016), observadas na Figura 1, como por exemplo: tecnologia de informação, *layout*, fluxos de processos, áreas de transição, capacidade de estocagem, mão-de-obra, instruções de trabalho, indicadores de performance, equipamentos de movimentação, estruturas de verticalização, plataformas, docas, veículos, entre outros.

Operar com o CD híbrido envolve a rápida distribuição de produtos para as lojas, através do *crossdocking*, com baixo custo, em uma escala maior, que exige um primeiro abastecimento de determinado produto, por exemplo. Já o *picking*, requer mais recursos para operar de acordo com as necessidades de cada empresa, podendo ser também velocidade o principal indicador de medição de desempenho. Desta forma, quanto mais se adiciona recursos na operação, mais onerosa ela fica. Porém existem outros fatores que devem ser avaliados como a assertividade na reposição de itens nas lojas, com eficiência, minimizando os riscos de corte nas vendas.

Figura 1 - Gestão logística de um centro de distribuição flexível



Fonte: Armazéns Trianon (2019)

Ballou (2010) ratifica que o centro de distribuição pode operar de forma mista com as duas modalidades de operação simultaneamente, funcionando como uma espécie de depósito pulmão ágil o suficiente no atendimento de pedidos para ressuprimento e outra na forma de armazém de distribuição. Esta flexibilidade em plantas logísticas é muito comum, sendo chamada por Bowersox e outros (2014) de estocagem ativa, e ajuda a regular o abastecimento das unidades receptoras. Nesta ordem, os conceitos de *crossdocking* e *picking* apresentam peculiaridades diferentes e, de acordo com cada um, serão exigidos tipos de alocação de recursos diferentes (BOWERSOX et al., 2014).

Dentre os dois formatos apresentados e até mesmo quando o CD opera de forma híbrida, o problema está em balancear a operação de acordo com as características de cada um, através da alocação de todos os recursos necessários para que haja o suprimento geral das demandas imputadas em sistema. Desta forma, são atendidas diferentes necessidades que os pontos de venda exigem, mantendo assim o nível de serviço prestado, dentro das condições acordadas.

Assim, o desafio está em manter a mão-de-obra o mais regular possível, considerado o recurso mais oneroso do CD, durante as oscilações exigidas pelo mercado em um ano de operação. Através da realocação de pessoas entre os setores, da realização e compensação de horas extras e da mínima contratação de novos funcionários, que baseado nos estudos de demanda realizados pela área de planejamento, é necessária apenas para contratos temporários de no máximo 3 meses de duração.

Portanto, técnicas de medição serão utilizadas para o estudo dos tempos das atividades, através de cronoanálise e, conseqüentemente, ter-se-á o entendimento das necessidades do uso de mão-de-obra, como também a alocação de outras formas de recursos e equipamentos necessários para o funcionamento da operação do CD. Feito isto, será possível mensurar e analisar diversos outros aspectos e os impactos econômicos nos custos com pessoal, instalações, distribuição e monitoramento (BARNES, 2009).

A análise prática proposta neste trabalho trata individualmente do abastecimento de 60 lojas multimarca e do *e-commerce* local, de uma rede varejista de calçados, presente em quatro estados do nordeste brasileiro. Por meio de um CD de 7.800m² de área, que opera com 98 funcionários divididos em equipes multidisciplinares, atuando em 2 turnos de operação. Apenas nos três últimos meses de cada ano, em função da alta demanda, se faz necessário adicionar um terceiro turno durante a madrugada.

É importante ainda afirmar que a operação do *e-commerce*, realizada na mesma planta, tem o *input* distribuído pelo sistema ERP (*enterprise resource planning* ou planejamento dos

recursos da empresa) da empresa exatamente igual ao de uma loja física. Porém, o recebimento dos produtos, o *picking* de pedidos e o processo de expedição são realizados pelo sistema WMS (*warehouse management system* ou sistema de gerenciamento de armazém), também utilizado no CD, apenas com algumas pequenas diferenças nos macroprocessos, que serão demonstradas mais à frente.

Como fonte desta pesquisa, a apresentação dos dados de demanda está ancorada no histórico da volumetria do CD entre os anos de 2018 e 2019. Algumas restrições já estarão contempladas nos parâmetros do estudo como, espaço da planta, áreas e subáreas para a realização de processos, turnos de trabalho e nível médio de capacidade produtiva. A oscilação da demanda operacional baseia-se no calendário de vendas da empresa.

Todas estas informações de tempo, demanda, volume, espaço físico e recursos diversos, serão coletadas diretamente na operação real e depois imputadas no sistema de simulação Flexsim. Servindo como base de análise do comportamento do CD nas variações de demanda, análise de pontos de risco e de gargalo, formação e validação de indicadores de desempenho e principalmente, apoio a decisão.

Além disso, também se busca, nesse estudo, validar a manutenção mínima da estrutura instalada de logística para a operação citada no parágrafo acima, bem como a definição máxima de entrega de resultados sem que haja a necessidade de contratação de pessoas e para os momentos de baixa demanda, fazer as devidas compensações da equipe em banco de horas e férias. Por fim, segundo Nascimento e outros (2018), torna-se possível a definição de indicadores para o monitoramento da operação e a velocidade na tomada de decisão com a criação de novos cenários, tendo informação consistente para influenciar positivamente outros decisores da cadeia de suprimentos.

1.3 JUSTIFICATIVA

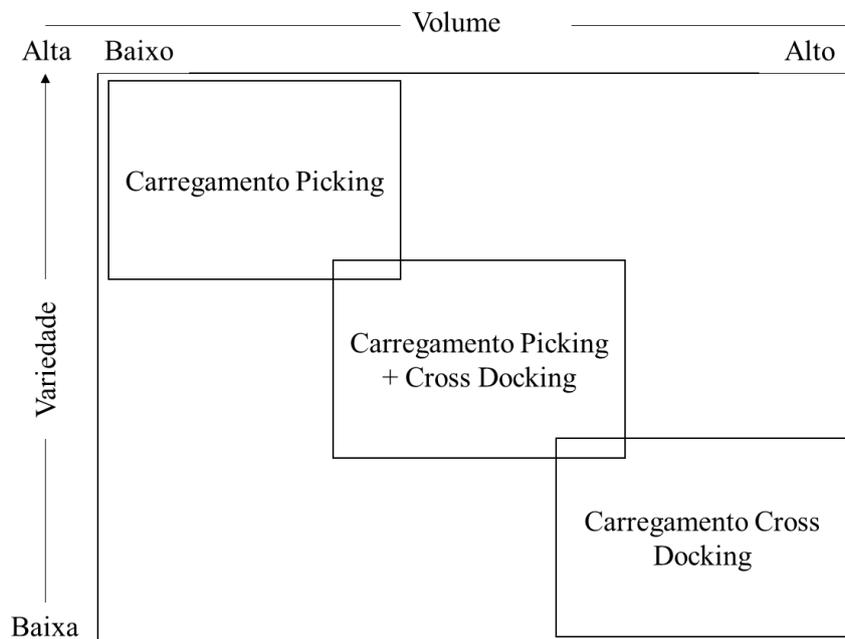
Segundo Bowersox e outros (2014), a demanda de atendimento de um CD deve ser dimensionada de acordo com a variação logística proposta pela área de planejamento, através da distribuição sistêmica de abastecimento da rede varejista, a qual é alimentada com informações de mercado trazidas por áreas fundamentais à gestão de suprimentos como por exemplo: compras, *marketing* e vendas. Por isso, a operação do CD deve apresentar flexibilidade para operar simultaneamente com mais de uma modalidade de distribuição, atuando de forma híbrida, com o processo de *crossdocking*, sendo mais veloz, mais barato e

menos assertivo no abastecimento, do que o *picking* de acordo com as suas características essenciais (CHOPRA; MEINDL, 2016).

Este trabalho irá se condicionar a dois dos modelos, o de *crossdocking*, através da rápida distribuição dos volumes diretamente da área de recebimento para as lojas e o modelo de *picking* com a estocagem de produtos no armazém e a separação de acordo com reposição da venda. É importante dizer que as definições do abastecimento da rede devem ser definidas pela área de compras ou comercial, variando de empresa para empresa (BOWERSOX et al., 2014). Ou seja, o CD executa a operação demandada e define as melhores estratégias para cumprir os prazos acordados.

Desta forma, apresentar um CD que tenha flexibilidade para operar de forma híbrida requer as variáveis de capacidade e produtividade bem definidas. Balancear a logística com os dois modelos, conforme carregamento de veículos na Figura 2, impacta de forma direta nos estoques das lojas mais enxutos e acurados, reduzindo custos e maximizando as vendas (PADILHA et al., 2020).

Figura 2 - Relação Volume x Variedade nos modelos de distribuição de logística



Fonte: adaptado de Moreira (2008)

Mas para que tudo isto ocorra, medir a operação na condição normal e definir os mínimos e os máximos fluxos internos é fundamental para que o decisor possa analisar os melhores cenários (CORRÊA; CORRÊA, 2012). Assim, em diversas situações, este estudo irá propor

soluções para expansões, gestão de recursos, planos de mitigação, necessidades extras na estrutura e parametrizações em sistema. Além de apresentar um cronograma de ações logísticas que acompanhe a oscilação do calendário anual do varejo, absorvendo assim os momentos de pico sem gerar maiores impactos nos pontos de venda.

Portanto, a motivação maior deste estudo é fundamentar toda operação logística, através da máxima compreensão do núcleo regulador de estoque da rede varejista, fomentando todas as áreas da companhia com informações precisas sobre as capacidades de entrada, processamento e saída do CD, além de outros ganhos necessários na gestão da rotina da operação como eficiência no orçamento, tempo de contrato com serviços terceiros, necessidade de investimentos e desenvolvimento de novos projetos.

Ainda, em entendimento sobre o funcionamento da operação do *e-commerce* ser muito semelhante com o fluxo da operação do CD, toda modelagem aplicada nesta pesquisa deverá ser replicada em um curto espaço de tempo, já que este modelo de negócio se encontra em franca expansão e já representa cerca de 7% de todo o faturamento da companhia.

Entretanto, seguir as etapas metodológicas de planejar bem o estudo antes de começar a construir o modelo e só depois expandi-lo para uma escala integral, minimiza os impactos sobre a operação e aprofunda o conhecimento de toda a logística. Somente a partir daí será possível verificar a lógica de funcionamento do CD e realizar testes nos cenários reais. A fase de conclusão do sistema dá-se com a geração e análise de dados, propondo soluções para otimização da operação (HILLIER; HILLIER, 2015).

Com isso, utilizar simulação em processos produtivos, atualmente, é um dos pilares da Indústria 4.0, no qual modelos virtuais são criados em sistemas de computador e modelados através de dados extraídos de modelos reais (PADILHA et al., 2020). Ou seja, não há necessidade de realizar “paradas” na operação ou modificações em sua estrutura, com o objetivo de verificar o comportamento da operação.

Para melhor modelar a operação do CD, o *software* FlexSim v.2020.1 foi escolhido. Esta ferramenta utiliza um conjunto de modelos matemáticos para manipular dados em vários tipos de sistemas operacionais, tanto juntos como separadamente. Além disso, as amostras de tempos coletadas serão imputadas em uma ferramenta do sistema que permite encontrar as melhores distribuições de probabilidade, permitindo a modelagem de um modelo dinâmico via simulação de eventos discretos. Ou seja, serão utilizadas variáveis aleatórias que irão gerar diferentes resultados de tempo e de produtividade em cada replicação de todo o sistema.

Isto se enquadra perfeitamente na verificação da operação nas mais diferentes condições, quando dividida em três macroprocessos: recebimento, onde há a definição do que será enviado direto para as lojas, através do *crossdocking*; processo de estocagem ou *picking*, onde é feita a separação dos produtos e; expedição, onde é feita a consolidação do resultado produzido pelo CD e embarque para as lojas.

Além disso, o *software* FlexSim possui uma poderosa e flexível base para modelagem e simulação. Com ele, é possível resolver problemas e apoiar a tomada de decisão através da modelagem. Na maioria dos pacotes deste *software*, foram adicionados vários recursos que aumentam a sua capacidade de personalização, variando bastante as opções para o usuário e gerando um excelente resultado de aproximação com a realidade. (BANKS; CARSON II; NELSON; NICOL, 2014).

Espera-se ainda que a documentação de análise final, protocolada nesta pesquisa, tenha em sua composição os cenários reais, variando de acordo com a demanda, construídos em árvores de decisão. Com isso, a base decisória de quando realizar a alocação de recursos de mão-de obra, bem como o compartilhamento deles, dentro do CD, estará disponível para o gestor, ajudando no processo de tomada de decisão na rotina da operação e na avaliação de cenários futuros.

1.4 OBJETIVOS

Esta pesquisa busca basear-se na modelagem e simulação de eventos discretos, ou seja, os resultados se alteram com o passar do tempo, em um CD que abastece lojas de calçados multimarca de uma determinada rede varejista. Os dados inseridos no sistema Flexsim são reais e os cenários gerados servirão de base para o apoio de decisão dentro da operação, com a análise de variáveis de tempo e de custo.

1.4.1 Objetivo Geral

Propor um modelo de gestão baseado em simulação de eventos discretos, para um CD flexível que opere com dois modelos de distribuição, *crossdocking* e *picking*. Através da operação de pedidos pré-formatados pela área de planejamento, no tempo acordado, regulando assertivamente os estoques das lojas em uma rede varejista.

1.4.2 Objetivos Específicos

- a) Analisar dois formatos de distribuição logística de forma conjunta, *crossdocking* e *picking*, e mensurar os impactos operacionais que podem ocorrer em capacidade e produtividade nas áreas do CD;
- b) Medir a capacidade operacional de um CD pertencente a uma rede calçadista no Nordeste Brasileiro, através de coleta de dados empíricos, classificados em planilhas eletrônicas, relacionando os resultados entre mão-de-obra produtiva e instalações físicas;
- c) Modelar e validar uma operação logística híbrida, que opera conjuntamente com os modelos de *crossdocking* e *picking*, no sistema de simulação Flexsim. De forma a ratificar os recursos utilizados em cenários reais de oscilação de demanda, além de fomentar a gerência de logística a tomar decisões quanto a cenários futuros;
- d) Elaborar e implantar um modelo de gestão logística, baseado em alocação, que permita quantificar os impactos nas mudanças dos recursos disponíveis, de modo maximizar a capacidade produtiva;
- e) Quantificar ações de alocação de recursos e planos de mitigação no CD, de acordo com o calendário anual de vendas da rede, além de propor um estudo de balanceamento da operação logística para garantir a manutenção do abastecimento das lojas;
- f) Apresentar os resultados obtidos, comparando os formatos de distribuição e propor alternativas para melhorar a aplicabilidade de cada um deles, de acordo com a demanda prevista.

1.4.3 Organização da Dissertação

O conteúdo de cada capítulo é brevemente descrito a seguir:

- **Capítulo 2:** Apresenta o referencial teórico e a revisão da literatura de trabalhos relacionados que foram necessários para o desenvolvimento desta dissertação. Aqui, disserta-se sobre gestão da cadeia suprimentos, logística, ciência da gestão e simulação, e análise de decisão;
- **Capítulo 3:** Explica a metodologia utilizada no trabalho, bem como a modelagem do problema citado, coleta de dados e testes realizados;

- **Capítulo 4:** Explica o modelo de simulação de eventos discretos utilizando o sistema Flexsim como ferramenta;
- **Capítulo 5:** Apresenta os resultados obtidos nos cenários testados do caso prático e uma análise comparativa entre eles;
- **Capítulo 6:** Contém as considerações finais do estudo realizado, oportunidades de melhoria de processos internos e sugestões de desenvolvimento para trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO E REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo apresenta definições e explicações empíricas sobre os principais temas abordados neste trabalho: Gestão da cadeia de suprimentos, logística, ciência da gestão e simulação, e análise de decisão. Também serão revisados alguns trabalhos existentes na área e analisados de forma crítica, para contribuição bibliográfica do estudo aqui apresentado.

2.1 GESTÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS

Segundo Porter (2009), um determinado composto de atividades em forma de fluxo de entrega de um produto para o cliente é chamado de cadeia de valor. Ou seja, insumos são inseridos (como matérias-primas, componentes e serviços de terceiros) nos canais de distribuição em direção ao comprador para que se tenha a melhor percepção possível da aquisição feita. Este fluxo pode ser dentro da empresa ou para fora dela, através da formação de parcerias, criando uma espécie de composição de várias corporações com o mesmo objetivo (PORTER, 2009).

A cadeia de suprimentos é o canal mais longo até a chegada do produto ao comprador. Ela é composta por diversos canais de distribuição que ao final, se apresentam como distribuidores, atacadistas e varejistas, nos quais o seu principal objetivo é a venda de bens ou serviços aos usuários finais (KOTLER et al., 2013).

Kotler (2005) afirma ainda que toda e qualquer organização que faça algum tipo de venda de produto ou serviço para o consumidor final, pratica a atividade de varejo. Assim, o varejista deve apresentar um bom sortimento de produtos para atender às expectativas de seu público-alvo, como também, desenvolver uma estratégia de diferenciação de produto através da qualidade e da marca (KOTLER, 2005).

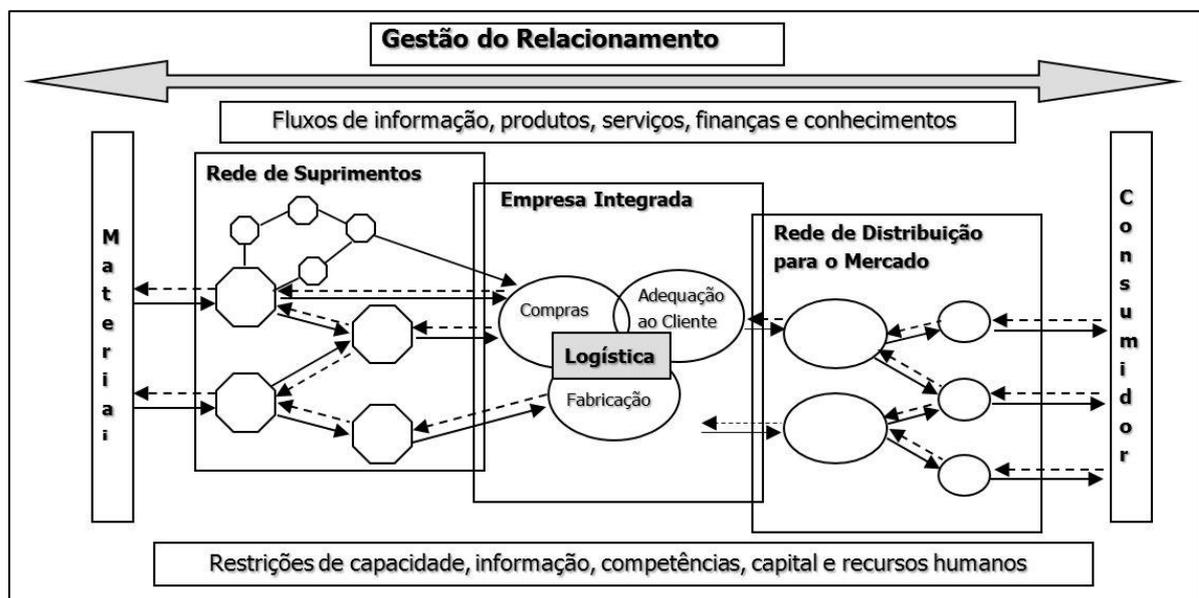
Para que esse fluxo de atividades funcione cada vez mais assertivo, os grandes varejistas têm investido em CDs estrategicamente posicionados para garantir o ressuprimento de produtos nas lojas de forma rápida e eficaz, diminuindo assim a chance de falta de produtos no momento de sua procura pelos clientes. Pode-se entender que os estoques das lojas são logisticamente geridos dentro da cadeia de suprimentos quando todos os produtos necessários para suprir a demanda não cabem no espaço fisicamente destinado a eles (MOU et al., 2017).

Desta forma, Gwynne Richards (2017) afirma que estes CDs funcionam como uma espécie de *buffer* na cadeia de suprimentos com a função específica de receber, processar e

distribuir produtos com maior velocidade, eficácia e eficiência. A gestão interna do armazém deve ser feita de forma flexível o bastante para que se atenda às demandas sazonais do mercado em que a rede de abastecimento está inserida.

O autor também afirma que custo, velocidade e acurácia de estoque são fatores determinantes para que os armazéns cumpram minimamente o seu papel. A Figura 3 apresenta a importância do abastecimento de cada ponto entrega na composição das cadeias de suprimentos, é feito através da gestão assertiva de pedidos, ancorada em sistemas de informação altamente precisos (RICHARDS, 2017).

Figura 3 - Integração da cadeia de suprimentos



Fonte: Bowersox et al. (2014)

Mais especificamente no varejo de moda, o autor afirma que os produtos deste segmento têm ciclos de vida cada vez mais curtos, o que demanda da operação logística: velocidade, acurácia e baixo custo. Sendo esta a composição do abastecimento nos diferentes pontos de entrega das cadeias de suprimentos, que são referências no mundo (RICHARDS, 2017).

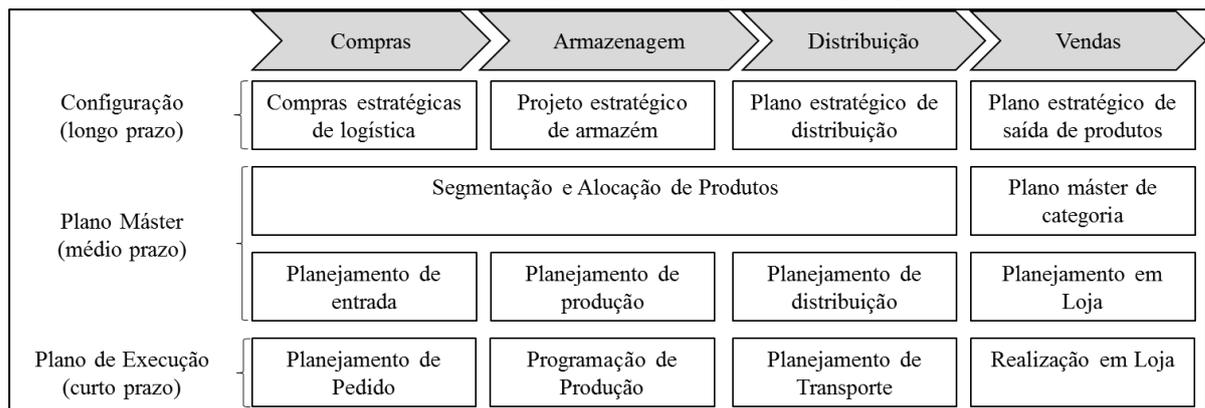
Martins e outros. (2018) explicam que por conta do dinamismo do setor de moda, o abastecimento de lojas deve fluir por diversos CDs, numa pressão para se reduzir os tamanhos das remessas e aumentar a frequência da entrega. A Figura 4 apresenta a criticidade da tarefa para o suprimento de cada loja, onde o planejamento da cadeia de suprimentos se torna essencial para o melhor desempenho comercial nas cadeias varejistas.

Ainda segundo estes autores o formato de distribuição, através da necessidade de produtos em cada ponto da cadeia e o tempo de entrega, é definido em áreas estratégicas. Pois

geram impactos diretos nos estoques das empresas que compõem as redes varejistas de cada cadeia de suprimentos. Por outro lado, o armazém tem um papel tático no suprimento da demanda atuando por diferentes formas de entrega presentes na literatura como (MARTINS; AMORIM; ALMADA-LOBO, 2018):

- Remessa direta: É a modalidade de entrega mais simples utilizada na logística, na qual cada origem distribui os seus produtos independentemente para seus destinos. Por definição, nenhuma instalação intermediária é visitada.
- Armazenamento: Indica que ao invés de serem entregues a partir dos fornecedores às lojas, os produtos são entregues no CD. Após esta etapa o abastecimento segue para as lojas através da gestão de pedidos e separação dos produtos ou *picking*, construindo remessas de entrega.
- *Crossdocking*: É semelhante ao armazenamento, porém sem tempo para ele. Ou seja, remessas consolidadas de diferentes origens são “quebradas” e depois reagrupadas com outras para o mesmo destino.
- *Milk-run*: O termo se originou na cultura ocidental em que o leiteiro entregava a garrafa de leite e coletava vazia. No sistema de transportes, nada mais é do que a operação de coleta e entrega de produtos em diferentes pontos de entrega na mesma rota de distribuição.

Figura 4 – Setores da logística impactados hierarquicamente pelo planejamento



Fonte: adaptado Martins e outros (2018)

É comum existirem casos em que o CD trabalha com mais de uma modalidade, quando ocorrem se tem uma operação chamada de rede híbrida ou personalizada (CHOPRA et al., 2016).

A funcionalidade logística dentro da cadeia de suprimentos é mais assertiva, se no planejamento da demanda existirem ferramentas suficientes e sistemas de gestão capazes de assegurar a programação de abastecimento das lojas. Segundo Marqui, Alcântara e Christopher (2010) é possível segmentar as causas de falta de estoque ou ruptura no varejo em três grandes grupos:

- Problemas no planejamento;
- Problemas de processamento de pedidos;
- Problemas de reposição.

As publicações sobre ruptura de estoque focalizam em duas questões centrais. A primeira com o objetivo de identificar as causas da ruptura de estoque e a segunda de investigar o comportamento dos consumidores frente à ruptura de estoque. Constatou-se que a literatura é carente de estudos na primeira vertente e rica sobre a segunda, que é bem mais consolidada e robusta de *cases* práticos (MARQUI; ALCÂNTARA; CHRISTOPHER, 2010).

O tema ruptura de estoque é cada vez mais reconhecido como um problema crítico no varejo e é definida como um evento onde um varejista experimenta uma demanda por um item, porém ele não está disponível para venda (CORSTEN; GRUEN, 2003). Os mesmos autores apontam para uma taxa de ruptura nos estoques do mundo em torno de 8,3%, em que as principais variáveis causadoras deste problema estão:

- No fornecedor, onde o tempo e a frequência de reposição devem ser minuciosamente monitorados;
- No planejamento de compras, no qual a frequência de compras deve ser estabelecida de acordo com o estoque mínimo;
- No mercado, onde são extraídas as informações de oferta e demanda para que se determinem os preços e as promoções (CORSTEN; GRUEN, 2003).

Finalmente, Kotler e Keller (2013) afirmam que a satisfação dos clientes é determinada por fatores como preço dos produtos, pontualidade na entrega e as condições com que o produto chega ao destino. Assim, seguindo os autores, os responsáveis pelas operações de expedição nas empresas devem levar em consideração alguns critérios importantes como: velocidade, frequência, confiabilidade, capacidade, disponibilidade, rastreabilidade e custo.

Michael Porter (2009) observa também que a própria cadeia de suprimentos, além de ser formada por empresas parceiras que utilizam a logística como elo para se relacionarem, apresenta o formato da relação “fornecedor x cliente” em todas as atividades, desde a manufatura e prestação de serviços, até a atividade de distribuição no varejo para o usuário

final. Cada atividade agrega valor à cadeia que juntas determinam fontes potenciais de vantagem para satisfazer às necessidades dos compradores (PORTER, 2009).

Por tudo isto a Cadeia de Suprimentos do varejo deve apresentar-se de forma flexível, tanto nos processos quanto nos ativos. Ou seja, o atendimento deve sempre ocorrer no prazo acordado e com capacidade sazonal de absorção do alto volume sem comprometer a qualidade e o nível de serviço prestado (CHOPRA; MEINDL, 2016).

2.2 LOGÍSTICA

Em sua revisão bibliográfica, James R. Stock (1997) afirma que além da origem militar, a logística de hoje apresenta raízes de marketing e gerenciamento de negócios, com algumas contribuições provenientes da engenharia.

Para Ballou (2010), a logística é um jovem campo de estudo da gestão integrada das já tradicionais áreas de finanças, marketing e produção. Trata-se de um processo que inclui planejamento, implantação e controle de todo o fluxo de mercadorias, serviços e informações relativas desde o ponto de origem até o ponto de consumo (BALLOU, 2010).

Finalmente Bowersox e outros (2014) entendem a logística como a função necessária para transportar e posicionar o estoque geograficamente, servindo para vincular e sincronizar toda a cadeia de suprimentos em um processo contínuo e essencial para a sua efetiva interconectividade. Através de um subconjunto de atividades, que cria valor pelo gerenciamento dos pedidos, do estoque, do transporte, do armazém, do manuseio e da embalagem, integrados por meio de uma rede de instalações físicas (BOWERSOX et al., 2014).

Nesse contexto, Richards (2014) entende que as instalações físicas chamadas de Centros de Distribuição se caracterizam por serem estoques avançados em localizações estratégicas, que proporcionam uma aproximação dos clientes finais, reduzindo com isso o tempo de ressuprimento de determinada demanda.

Por definição, o fluxo de um centro de distribuição ocorre através entrada de produtos, a gestão deles e saída através do atendimento dos pedidos. Independentemente de sua posição geográfica e do tipo de produto manuseado, o CD funciona como um importante *link* dentro da cadeia de suprimentos (RICHARDS, 2014). Os varejistas ainda utilizam essas estruturas para aproximar os seus estoques das zonas de consumo, reduzindo com isso custos e aumentando as vendas em suas lojas de acordo com a correta disponibilização de produtos, baseada na necessidade de seus clientes (RICHARDS, 2014).

Richards (2014) afirma ainda que existem dois fluxos na cadeia de suprimentos que determinam a necessidade da gestão operacional de um CD. O primeiro chama-se fluxo de *in bound*, que internamente possui micro fluxos consistentes em sistema, de várias áreas da empresa, ou até mesmo de várias outras empresas, que culminam com a estocagem de produtos em armazém. Por outro lado, existe o fluxo de *out bound*, que se inicia com a separação de pedidos, outrora armazenados para este fim, os quais são baseados nas necessidades sistêmicas apresentadas por seus clientes. Nesse último caso, os clientes podem ser os próprios usuários de produtos, modelo aplicado na distribuição do varejo, como também podem ser outras empresas seguindo o conceito de integração na cadeia de suprimentos (RICHARDS, 2014).

Para Nascimento e outros (2018), as atividades primárias de um centro de distribuição são subdivididas em quatro grandes grupos compostos por vários processos, que se relacionam entre si e que dependem uns dos outros:

- **Recebimento:** onde ocorre a descarga e a conferência, quantitativa e qualitativa, dos produtos enviados pelo fornecedor. Depois o lançamento dos dados fiscais no sistema, a fim de atualizar o estoque. Esta função é base para todas as outras não só no CD, como também para a companhia e para as outras empresas pertencentes à cadeia de suprimentos em questão.
- **Movimentação:** sendo considerada pelos autores como uma das funções mais complexas do CD, a qual consiste no transporte de mercadorias, podendo ser da área de recebimento até a área de armazenagem ou a realocação de um produto já armazenado.
- **Estocagem:** que é definida como a manutenção de um estoque temporário dos produtos, até que sejam vendidos; enquanto o transporte consiste na retirada e na separação dos produtos corretos.
- **Processamento de pedidos:** sendo a última fase, onde ocorre a verificação das mercadorias anteriormente separadas. Após essa etapa, é feita a pesagem das cargas, a validação dos pedidos e a emissão dos documentos necessários.

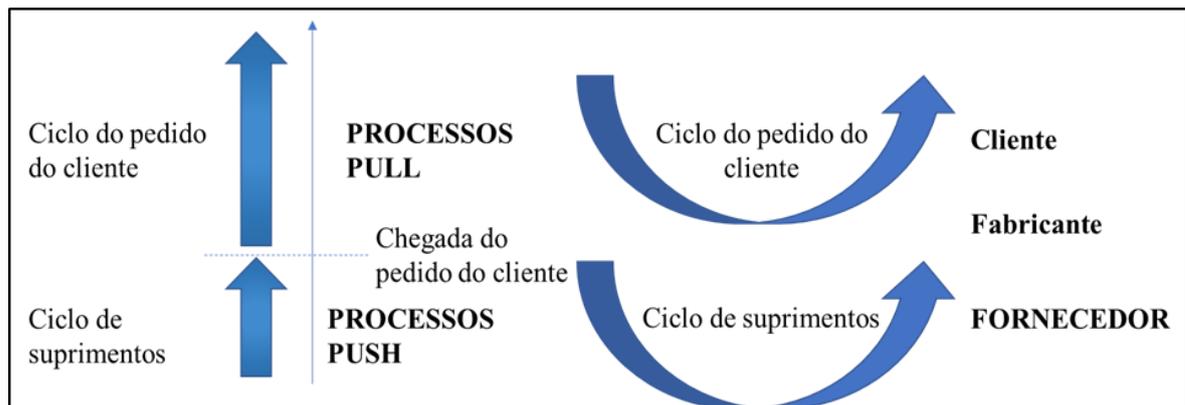
Para que tudo isso ocorra na forma esperada pelas empresas, investimentos em sistemas de informação são cada vez mais necessários. Esses sistemas, chamados de ERP, são capazes de realizar o planejamento de distribuição no varejo por completo. De modo que as lojas sejam abastecidas de acordo com a demanda existente e até, em alguns casos, seguindo os diferentes perfis socioeconômicos de determinadas localidades (CHOPRA; MEINDL, 2016).

Um sistema de informação da cadeia de suprimentos abrangente inicia, monitora e auxilia a tomada de decisões, relatando as atividades necessárias à realização de operações e planejamento logísticos (BOWERSOX et al., 2014). Os sistemas ERP facilitam as operações e os relatórios integrados para iniciar, monitorar e localizar atividades críticas, como o atendimento a pedidos e reabastecimento, além de incorporarem também um banco de dados integrado no âmbito de toda empresa (BOWERSOX et al., 2014).

Especificamente, o centro de distribuição opera com o seu sistema de gestão chamado de WMS. Este sistema atua de forma integrada, como executor das demandas impostas pelo planejamento do ERP. Bem como o TMS é o sistema de gestão de transportes (*transportation management system*) que também trabalha em subconjunto na entrada de dados para o ERP sobre o andamento das cargas em trânsito (BOWERSOX et al., 2014).

O CD então passa a funcionar como ferramenta reguladora dos estoques espalhados nas redes varejistas através de dois processos de planejamento. Sendo o primeiro processo chamado de *push*, quando a demanda não é prevista e é executado de forma especulativa para aceitação de um produto no mercado. Já o segundo processo é chamado de *pull*, no qual é reativo à demanda do cliente e é mais assertivo para a venda, como mostra a Figura 5 (CHOPRA; MEINDL, 2016).

Figura 5 - Ponto de equilíbrio entre os processos Push e Pull de demanda

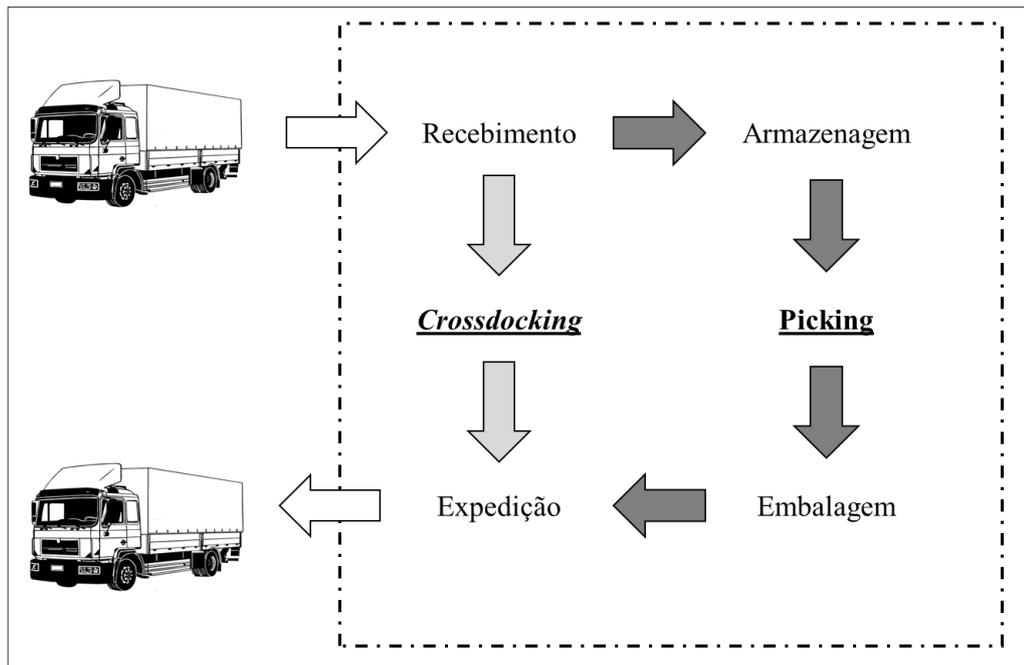


Fonte: adaptado de Chopra e outros (2016)

Ainda segundo Chopra e Meindl (2016) estas estratégias de distribuição elaboradas por áreas como compras, planejamento, vendas e marketing, definem as metodologias de armazenagem que serão apresentadas neste estudo. A Figura 6 apresenta o funcionamento de distribuição por armazenagem de lote de produção, no qual os produtos armazenados servirão para compor a separação de pedidos de abastecimento dos clientes e modelos de distribuição

crossdocking, no qual com a chegada dos caminhões, os produtos são desmembrados rapidamente de seus pedidos iniciais e realocados em carregamentos conjuntos com outros produtos, formando assim novos pedidos de abastecimento diretamente para os pontos de venda.

Figura 6 - Processos de crossdocking e picking em um CD híbrido



Fonte: O Autor (2020)

Portanto, a operação que será descrita aqui como estudo de caso prático é fundamentada pelas afirmações de Bowersox e outros (2014), quando se relacionam de forma híbrida e flexível em ambas as metodologias de distribuição logística. Com base nas informações carregadas no sistema ERP da empresa, o centro de distribuição atua com a estocagem de parte dos produtos, para a posterior separação e reembalagem, através da gestão de pedidos das lojas. Feito isso, estes volumes seguem para a área de expedição do armazém a fim de se juntarem com as demandas do *crossdocking*, modelo de combinação de produtos de diversas origens para o mesmo ponto de venda, sem que haja a necessidade de abertura dos volumes. A rota de entrega, composto de lojas de acordo com o conceito *milk-run*, é consolidada. A partir daí está autorizado o carregamento do veículo e saída liberada de acordo com a frequência de transporte (BOWERSOX et al., 2014).

O equilíbrio adequado entre capacidade e demanda pode gerar altos lucros a empresas e clientes extremamente satisfeitos, enquanto o erro neste equilíbrio pode trazer muitos problemas. Por isso, controlar a capacidade produtiva em acordo com o planejamento da

demanda é uma missão que deve estar em acordo com outras áreas além da operação, neste caso a logística (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009). Segundo estes mesmos autores, o *input* para o CD depende exclusivamente do planejamento de compras e da equipe comercial ou de vendas. Assim, a operação logística deve controlar a sua capacidade produtiva para o atendimento da oscilação da demanda. A este processo envoltório de diversas áreas dá-se o nome de planejamento e controle agregados (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009).

Algumas decisões são necessárias no gerenciamento do CD em decorrência do tipo de metodologia de armazenagem realizada. Tanto para o modelo de gestão de estoques, quanto para o modelo de *crossdocking*, existem necessidades de recursos e compartilhamento de tecnologia diferentes. Assim, há uma concordância na literatura em que a separação unitária de produtos, ou *picking* e a embalagem é a operação mais dispendiosa no sentido de mão-de-obra, insumos e equipamentos, quando os custos são rateados para todo armazém. De forma inversa, a metodologia de *crossdocking* requer menos pessoas e insumos, além dos equipamentos de movimentação utilizados serem mais simples, o que torna a operação menos onerosa do ponto de vista do custeio por atividades (BALLOU, 2010; BOWERSOX, CLOSS, COOPER, BOWERSOX, 2014; CHOPRA, MEINDL, 2016).

Ballou (2010) diz que existem 4 razões básicas para estocagem, do ponto de vista da cadeia de suprimentos: 1) reduzir os custos de transporte e produção; 2) coordenar oferta e demanda; 3) assessorar no processo de produção; 4) colaborar no processo de comercialização. Estas razões devem combinar com as 4 funções primárias para o processo de estocagem:

- Manutenção: a mais óbvia das finalidades das instalações de estocagem é justamente proporcionar proteção e manutenção ordenadas dos estoques.
- Consolidação: utilizada em um armazém de distribuição que serve para estocagem de produtos por determinado prazo, em contraste parte de seu espaço alocado para produtos com passagem rápida e que requerem agilidade no fluxo. Obviamente muitos armazéns funcionam com as duas modalidades, sendo a diferença uma questão de grau.
- Fracionamento: usar as instalações para fracionar volumes é o contrário de consolidar cargas. Trata-se de remover os pedidos para um armazém intermediário, que irá despachá-los em quantidades menores. Essa prática é comum em armazéns de distribuição.
- Combinação: mais comum para a manufatura, apresenta o uso de instalações de estocagem para a combinação de produtos. Empresas compram de diferentes

fabricantes a fim de preencher uma parte de sua linha de produtos em fábricas variadas, proporcionando assim economia em transportes (BALLOU, 2010).

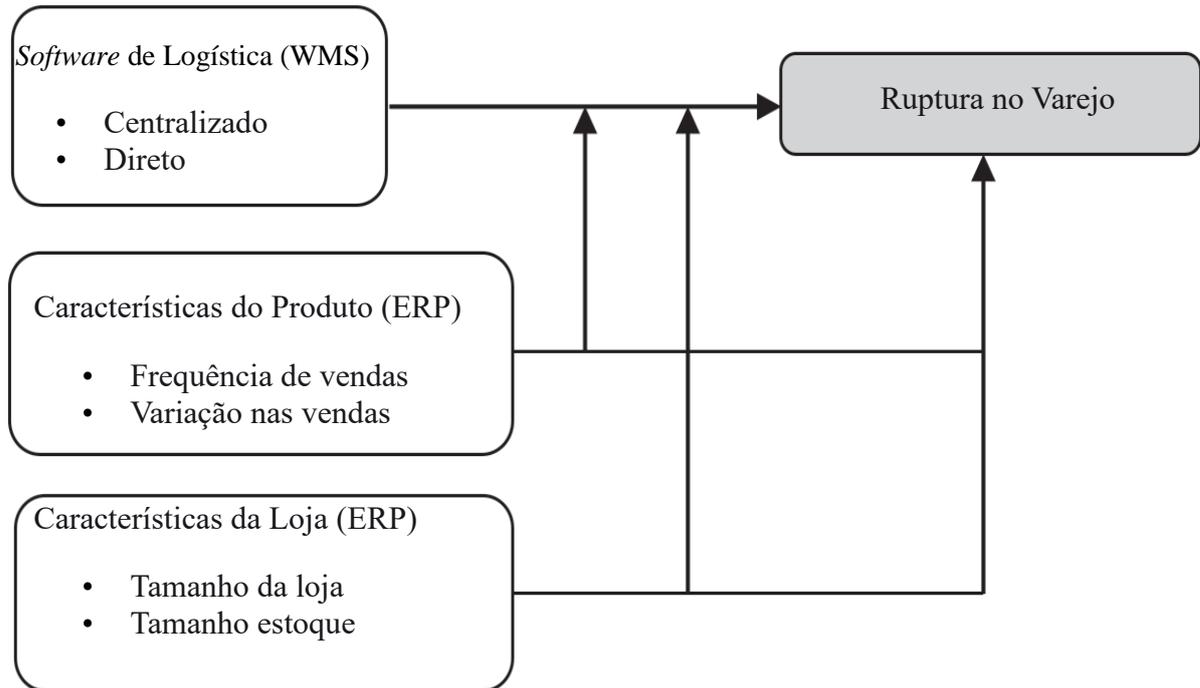
Fernandes e outros (2011) afirmam que a gestão da distribuição física de produtos acabados, caso deste estudo prático em uma rede varejista de calçados, dar-se em três níveis:

- Estratégico: o qual são considerados aspectos que levam em conta o número e a localização de instalações produtivas e de armazenamento, tais como fábricas, armazéns e centrais de distribuição; os canais de distribuição; os meios de transporte e tipos de veículos a serem utilizados; o sistema de processamento de pedidos e faturamento.
- Tático: o qual há um planejamento de médio e curto prazo, de forma a assegurar a maior eficiência na operação do sistema de distribuição; bem como na utilização dos equipamentos, dos veículos e das instalações, definidas no nível estratégico.
- Operacional: engloba a programação, execução e controle das atividades diárias, de forma a assegurar o deslocamento dos produtos para os canais de distribuição ou diretamente para os mercados consumidores, no tempo correto (FERNANDES et al., 2011).

Alguns indicadores de performance são praticados como padrão em operações de logística e em centrais de distribuição, Fernandes e outros (2011) apresentam em seu estudo 3 principais: 1) indicadores de gestão de estoque; 2) indicadores de logística interna; 3) indicadores de mão-de-obra. Eles são importantes porque representam particularidades da operação e servem para o monitoramento do nível de serviço prestado nesta área.

A entrega do produto certo, no momento certo e na loja certa, faz com que se evitem a perda de vendas pela falta de produtos na procura dos consumidores. Embora se pareça fácil, sistemas extremamente robustos, informação integrada, equipes de planejamento e compras cada vez mais especializadas e centros de distribuição avançados apenas ajudam a diminuir o evento da ruptura de estoque na loja, conforme a Figura 7. Vários outros aspectos intangíveis e de difícil mensuração aparecem na literatura deste tema como grandes ofensores para a imagem dos varejistas, provocadas pelos clientes, tais como insatisfação, má experiência e migração para concorrência (MILIĆEVIĆ; GRUBOR; ĐOKIĆ; AVLIJAŠ, 2017).

Figura 7 - Interações entre sistema de logística e características da loja e do produto



Fonte: adaptado MILIĆEVIĆ e outros (2017)

Paladini (2010) aborda alguns elementos operacionais da Gestão de Qualidade como primordiais na criação de uma relação direta, entre as áreas produtivas e os setores consumidores. De maneira geral, credibilidade na produção e na marca, aceitação e valor associado ao produto, e adequação ao usuário, são considerados sobretudo esforços para gerar qualidade nas organizações.

Entretanto Slack e outros (2009) afirmam que confiabilidade é fazer as coisas em tempo para que os consumidores recebam os seus bens ou serviços em tempo. Em se tratando de uma operação logística de varejo, o bom desempenho faz com que os clientes internos julguem o desempenho de todas as áreas fornecedoras, de forma a verificar o nível de confiança na entrega pontual de materiais e informações. Quanto maior este índice, mais eficaz e mais barata será a operação (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009).

Por fim, Bowersox e outros (2014) afirmam que o serviço logístico básico descreve o nível de serviço que a logística presta a todos os clientes em 3 esferas e devem ser mensuradas a todo o momento:

- Disponibilidade: que envolve ter os níveis de estoque necessários para atender às constantes necessidades dos clientes em termos de matérias-primas ou produtos.

- Desempenho operacional: que lida com o tempo necessário para entregar o pedido de um cliente com assertividade, sendo ele medido pela eficiência na velocidade e na consistência da entrega.
- Confiabilidade do serviço: que envolvem os atributos relacionados à qualidade da logística. O segredo da boa qualidade é a medição cuidadosa da disponibilidade e do desempenho operacional (BOWERSOX et al., 2014).

2.3 PESQUISA OPERACIONAL E SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS

Pesquisa operacional é a área de estudos que utiliza computadores, estatística e matemática, através de modelagem aplicada, para resolver problemas de negócios. (LACHTERMACHER, 2009). A pesquisa operacional ajudar na tomada de decisões gerenciais por meio da aplicação de uma abordagem científica a problemas gerenciais que envolvem fatores quantitativos (HILLIER; HILLIER, 2015, 2015).

Alguns tipos de problemas que a ciência da gestão pode ser utilizada como ferramenta de análise estão listados abaixo (LACHTERMACHER, 2009):

- ✓ Problemas de otimização de recursos;
- ✓ Problemas de localização;
- ✓ Problemas de roteirização;
- ✓ Problemas de carteiras de investimento;
- ✓ Problemas de alocação de pessoas;
- ✓ Problemas de previsão e planejamento;
- ✓ Problemas de alocação de verbas de mídia.

Ainda segundo o autor, existem inúmeras outras formas de modelar e resolver problemas através de plataformas de simulação. Em que o importante é definir o problema para seguir as etapas de construção do modelo, com isso se evitará perda de tempo e esforço (LACHTERMACHER, 2009).

Desta forma, muitos problemas gerenciais giram em torno de fatores quantitativos, como receitas e custos de produção, quantidade disponível de recursos necessários e assim por diante. Ao incorporar esses fatores em um modelo matemático e, então, aplicar os procedimentos para solucioná-lo, a ciência da gestão fornece uma maneira única e poderosa de analisar esses problemas gerenciais (HILLIER; HILLIER, 2015).

Ainda segundo Hillier & Hillier (2015), os problemas de alocação de recursos por atividades, podem ser modelados por problemas de programação linear, pois os recursos usados devem ser considerados até a sua disponibilidade, qualquer necessidade superior a isto será considerada custo. Assim, o recurso de identificação deste tipo de problema é que as restrições de recursos têm a seguinte forma:

$$Q_{uso} \leq Q_{disp},$$

Em que:

Q_{uso} : quantidade de recurso usado

Q_{disp} : quantidade de recursos disponível para um dos recursos

Já para Cauchick-Miguel e outros (2012) os modelos de simulação são poderosos e amplamente utilizados para analisar sistemas complexos em pesquisa operacional. Em geral, eles imitam o sistema real à medida que o tempo evolui, como também podem ser usados para analisar o sistema em determinado espaço de tempo, neste caso sendo chamados de modelos estáticos. Os modelos são dinâmicos contínuos, quando buscam reproduzir sistemas cujo comportamento muda continuamente com o tempo e modelos dinâmicos discretos, que por sua vez mudam em pontos discretos no tempo, ou seja, dependem de atividades dentro do sistema para o processo ter continuidade. Os modelos dinâmicos discretos são mais utilizados em engenharia de produção e relativamente fáceis de serem aplicados, porém difíceis de ser incorporados em modelos de otimização para tomadas de decisões (CAUCHICK-MIGUEL et al., 2012).

Converter dados brutos em informações significativas e organizá-los, é um dos papéis dos sistemas de informações gerenciais (SIG) e devem ser utilizados no processo de tomada de decisão. Como exemplo paralelo ao do caso deste estudo, uma loja de departamentos armazena dados de vendas, números de notas fiscais, produtos, datas e preços praticados. Os quais, precisam ser organizados para que a informação seja precisa o suficiente a fim de que assegure o decisor a tomar a melhor decisão possível (LACHTERMACHER, 2009).

Ainda segundo Lachtermacher (2009), os sistemas de simulação ajudam na tomada de decisão e por isso são entendidos como sistemas de apoio à decisão (SAD). Eles são um conjunto de relações matemáticas e hipóteses lógicas, cada vez mais rápidos, que representam uma situação real de tomada de decisão e com as facilidades dos computadores.

Os modelos matemáticos estocásticos consideram incertezas nos parâmetros e precisam ser modelados a fim de se maximizar a sua solução. Eles requerem grandes quantidades de

dados históricos e tratamento estatístico adequado, de forma que ao menos uma variável de entrada ou saída seja aleatória. Diferentemente dos modelos determinísticos, que não possuem variáveis aleatórias e que têm as suas soluções em variáveis de decisão, de modo a maximizar ou minimizar, funções que satisfaçam as restrições de um sistema (CAUCHICK-MIGUEL et al., 2012).

Simular um modelo probabilístico envolve gerar os mecanismos estocásticos do modelo e observar o seu fluxo resultante ao longo do tempo. No entanto, como a evolução do modelo ao longo do tempo geralmente envolve uma estrutura complexa de seus elementos, na qual nem sempre se torna assertivo acompanhar essa evolução para determinar as quantidades de interesse. Com isso a abordagem de simulação de eventos discretos se baseia em uma estrutura geral constituída para ajudar a seguir o modelo ao longo do tempo e determinar as quantidades relevantes de interesse em cada evento (ROSS, 2012).

Seguindo o autor Ross (2012), quando um modelo de simulação é construído e depois validado, ele deve funcionar como um sistema de apoio à decisão em processos difíceis de serem interrompidos para aplicação de testes práticos. Assim, este estudo buscará mensurar as variáveis de interesse em um sistema dinâmico, no CD varejista, via simulação de eventos discretos a qual permite acompanhar o estado destas variáveis no decorrer da operação, gerando diferentes resultados de produção e tempo para cada replicação ocorrida.

Portanto, Mourtzis e outros (2014) afirmam que nos dias de hoje cada vez mais é necessária a aplicação de *softwares* de simulação para o entendimento de avanços, tendências futuras e comparações práticas em atividades de planejamento e controle de sistemas, projetos de *layout* e de fluxos de materiais, controle de sistemas de rede, processos internos e tantas outras atividades. Porém quando aplicada a cadeia de suprimentos e logística, a simulação pode apresentar a visão clara de geração de cenários de acordo com o *input* de dados fornecidos pelos sistemas ERP utilizados como colaboração entre empresas (MOURTZIS; DOUKAS; BERNIDAKI, 2014).

Para a distribuição do varejo é importante o uso de sistemas simulação que apresentem diferentes situações nos formatos de logística, com base em dados fornecidos na cadeia de suprimentos, para que os clientes sejam atendidos de forma coerentemente, com velocidade e precisão de entrega em estruturas híbridas de distribuição (MOURTZIS; DOUKAS; BERNIDAKI, 2014).

A frase “modelagem e simulação” tem um significado que implica em duas atividades distintas. A atividade de modelagem cria um objeto ou modelo que sendo usado como

experimento, gera a atividade de simulação por um programa de computador. Desta forma, o nível de conhecimento disponível influencia significativamente a natureza dos objetivos que podem ser formulados realisticamente para um estudo desta natureza, ou seja captar as informações necessárias é fundamental para a aproximação do modelo à realidade (BIRTA; ARBEZ, 2013).

Os autores afirmam ainda que tempo é uma variável preciosa nos modelos de simulação, pois ela determina função, valor e causa dependência em outras variáveis que compõem o sistema. Assim, observa-se o comportamento das outras variáveis em função do tempo, podendo restringir ou não o modelo (BIRTA; ARBEZ, 2013).

Para uma simulação da cadeia de suprimentos, os modelos de entrada incluem as distribuições da demanda e do *lead time*, ou seja, o tempo de atendimento. A análise de saída refere-se à análise dos dados produzidos por uma simulação e a extrair inferências desses dados sobre o comportamento do sistema real (BANKS; CARSON II; NELSON; NICOL, 2014).

Os gerentes consideraram a simulação útil para fornecer um "*test drive*", antes de fazer investimentos de capital e sem o risco de interromper o sistema existente com alterações não experimentadas (BANKS; CARSON II; NELSON; NICOL, 2014).

Em operações de armazéns de passagem ou *crossdocking*, o manuseio de material é claramente um componente essencial de qualquer modelo de fluxo de material. Já os armazéns manuais geralmente usam empilhadeiras para mover os paletes da doca de recebimento para o armazenamento e do armazenamento para a doca de embarque. Além de paleteiras e carrinhos para fazer gestão de produtos, através do *picking* de produtos, posteriormente também transferidos para as docas. CDs mais automatizados podem usar extensos sistemas de transportadores para oferecer suporte a entrada em estoque, separação de pedidos, classificação e consolidação de pedidos (BANKS; CARSON II; NELSON; NICOL, 2014).

Estudos demonstraram que apenas 10% do tempo é utilizado na fabricação de produtos, uma vez que a maioria dos 90% restantes, dentro da cadeia de suprimentos, são utilizados para atividades de logística como armazenamento, carregamento, espera pelo processamento e transmissão de pedidos. Assim a aplicação da tecnologia de simulação computacional torna-se uma importante ferramenta para o gerente de suprimentos e logística encontrar as melhores soluções para o aumento da produtividade e a redução do custo logístico (DONG; WANG, 2017).

Com o desenvolvimento de computadores, a tecnologia de modelagem e simulação é utilizada amplamente na logística da cadeia de produção, fornecendo um bom suporte para a

otimização do layout da empresa e do sistema de logístico como um todo, de modo a avançar, prevenir ou melhorar vários problemas da operação real (WANG; CHEN, 2016). O modelo de simulação de eventos discretos, dessa pesquisa, foi realizado no *software* Flexsim, que permite a modelagem de operações de fluxo de materiais cruzado, operações repetidas, retorno de material, espera de processo e outras condições (WANG; CHEN, 2016).

O Flexsim é um *software* de simulação de eventos discretos e tem seu código-base desenvolvido em C++, é orientado a objetos e usa tecnologia Open GL pertencente à Flexsim *Software Products*, Utah. A modelagem é feita em 3D e voltada ao objeto, ou seja, todas as lógicas de operação do sistema são feitas diretamente nos objetos do modelo. Com isso, torna-se um modelo de simulação em qualquer sistema, processo ou fluxo, bem como, fornece bibliotecas de objetos que simulam processos reais (BANKS; CARSON II; NELSON; NICOL, 2014).

Além disso, a escalabilidade da modelagem no Flexsim é poderosa, facilitando a interface com outros tipos de *software*, no próprio sistema, ou fora dele. Permitindo assim, simular a logística de produção real, analisar os resultados, identificar problemas de gargalo, propor métodos de otimização direcionados para melhorar processos, reduzir desperdícios, melhorar eficiência e comprovar a racionalidade do sistema em pesquisa (WANG; CHEN, 2016).

Dentre as mais variadas ferramentas que o sistema Flexsim possui, utilizou-se as que melhor se adequam à modelagem realizada. Abaixo, estão descritos os seus conceitos fundamentais e suas lógicas de aplicação no CD estudado (NASCIMENTO, 2018):

- I. ***Chegadas***: na construção do modelo, as chegadas podem ser pré-determinadas ou aleatórias. Em determinado instante de tempo, elas definem a quantidade, a frequência e a maneira em que os produtos chegam ao sistema.
- II. ***Flow Items***: Informações, pessoas ou objetos transformados durante a modelagem para a simulação. Foram utilizados para simular, neste estudo, os funcionários, os paletes, os volumes e os pares de calçados.
- III. ***Fixed Resources***: objetos responsáveis por simular os locais do arranjo físico, que são responsáveis pelas alterações nas variáveis do sistema. Por exemplo, foram utilizados para simular no CD as docas de recebimento e expedição, a roteirização, os porta-paletes, o *checkout* e o carregamento dos veículos. Outros foram introduzidos na modelagem para realizar as alterações esperadas nos *Flow Items* e com isso gerar o resultado esperado, conforme a seguir:

- **Source:** responsável por gerar várias chegadas nas três áreas estudadas no modelo (recebimento, *picking* e expedição). Além disso, o *source* também ajuda na geração de cenários da simulação, a qual utiliza variáveis aleatórias com valores entre 0 e 1.
- **Queue:** responsável por simular filas em todo o sistema e os estoques iniciais no sistema. No caso do *picking*, após o estado zero, serviu para “puxar” as entradas oriundas do recebimento durante a operação. Ele também é útil para o *input* de variáveis aleatórias e ajuda na geração de cenários aleatórios para a simulação.
- **Separator:** responsável por separar os itens do porta-paletes e consolidar em um único palete, também foi utilizado na expedição para segregar os paletes vindos do recebimento e do *picking* por loja. Todos os paletes foram gerados com variáveis aleatórias, para que recebam os itens e posteriormente volumes com as mesmas restrições, garantindo a mesma replicação na simulação.
- **FloorStorage:** responsável por agrupar os volumes, para depois “empurrá-los” dentro do sistema obedecendo uma ordem aleatória, combinada a dados previamente estabelecidos. Foi utilizado no recebimento, após a descarga dos veículos e antes do primeiro processo, o de etiquetagem.
- **Processor:** responsável por realizar as tarefas ou processos em todo o sistema, cumprindo etapas de forma aleatória. Após parametrizado com os dados necessários da operação, foi utilizado no recebimento para realização das três tarefas medidas, no *checkout* do *picking* e na expedição no carregamento dos veículos.
- **Combiner:** responsável por combinar *Flow Itens* no modelo, como por exemplo itens em volumes, volumes em paletes e paletes em caminhões. Ele foi utilizado nas 3 áreas da modelagem do CD, combinando entradas aleatórias, por seção, no recebimento. Depois na separação, unitizando aleatoriamente os itens dentro dos volumes, no *checkout* dos paletes do *picking* por rota e na expedição juntando os paletes oriundos do recebimento e do *picking* por loja.
- **Rack:** Trata-se da estrutura montada no *picking*, também sendo utilizada no Flexsim com a mesma finalidade. Ou seja, recebe os paletes oriundos do recebimento e depois, “quebra” estes paletes no abastecimento do *picking* para

o *separator* funcionar com a ajuda do operador. De acordo com as lógicas inseridas em suas funções de armazenagem e remoção de paletes, foi possível através do módulo *Process Flow* do FlexSim que as restrições da armazenagem dos paletes e do posterior abastecimento dos endereços de picking fossem respeitadas.

- IV. ***Mobile Resources***: São os recursos móveis do modelo que executam tarefas pré-definidas por algum *Fixed Resource*, como os operadores e as empilhadeiras, por exemplo. Aparecerem neste estudo os operadores, representando os funcionários com as restrições parametrizadas, o *dispatcher*, que tem a função de “gerir” a necessidade do envio de operadores para executar alguma tarefa e, por fim, a empilhadeira utilizada apenas para guardar os produtos nos endereços de pulmão do porta-paletes na área de *picking*.
- V. ***Conexões***: Definem o fluxo dos *Flow Items* no modelo, além de definirem também os vínculos entre *Fixed* e *Mobile Resources*. Ou seja, são mecanismos responsáveis pela evolução da simulação.
- VI. ***Process Flow***: Trata-se de um módulo avançado do FlexSim que cria regras avançadas e sequências de tarefas complexas. Neste estudo, o *Process Flow* foi utilizado e parametrizado nas três áreas analisadas, para a realização de tarefas e continuidade de processos, como também nas conexões entre elas.
- VII. ***Global Tables***: São planilhas utilizadas para facilitar a gestão de dados de entrada e saída do modelo. Utilizamos esta ferramenta no setor de picking, para criarmos os cenários mais próximos da realidade no tocante ao preenchimento dos volumes com os itens de separação, de acordo com as possíveis quantidades e as seções trabalhadas.
- VIII. ***Statistic Collector***: trata-se de uma ferramenta flexível e bastante robusta, que permite a geração de dados de *output* do modelo. Através dela é possível a criação de resultados e as análises do modelo de simulação em seu estado natural.
- IX. ***Experimenter***: é uma ferramenta poderosa para a geração de diferentes cenários, como também evidencia problemas de otimização encontrados na simulação. O *Experimenter* foi utilizado para analisar o comportamento da operação do CD nos momentos de pico e de vale da demanda, através da geração de gráficos de determinadas variáveis que impactam no modelo.

- X. *User Commands*: Permite que lógicas de programação C++ sejam inseridas na modelagem. Esta ferramenta foi utilizada para salvar os resultados das replicações feitas no *Experimenter*.

2.4 ANÁLISE DE DECISÃO

Em seu livro, De Almeida (2013) diz que uma alusão a decisões nas organizações leva a uma associação com várias observações feitas ao longo do tempo em relação à importância do tema. Sendo um modelo de decisão uma representação formalizada e simplificada do problema enfrentado, através do suporte de um método de apoio a decisão. A importância da tomada de decisão, para qualquer sistema empresarial é tido como fundamental para Hammond e outros (1998b). “Tomar decisões é o trabalho mais importante de qualquer executivo” (DE ALMEIDA, 2013).

Lachtermacher (2009) diz que os modelos de decisão mais utilizados na modelagem em situações gerenciais são os modelos simbólicos ou matemáticos, em que as grandezas são representadas por variáveis de decisão, e as relações entre essas variáveis, por expressões matemáticas. Por isso, estes modelos necessitam de informações quantificáveis.

Os métodos e procedimentos de agregação matemática são tidos como que operam com probabilidades individuais fornecidas por especialistas, através de dados, para produzir uma distribuição de probabilidade combinada, sendo subdividida em Frequentista e bayesiana. (DE ALMEIDA; MORAIS; COSTA; ALENCAR; DAHER, 2012).

A abordagem bayesiana é mais utilizada para problemas de risco (DE ALMEIDA; MORAIS; COSTA; ALENCAR; DAHER, 2012), pois ela usa diretamente as probabilidades *a priori* dos estados da natureza possíveis (HILLIER; HILLIER, 2015,).

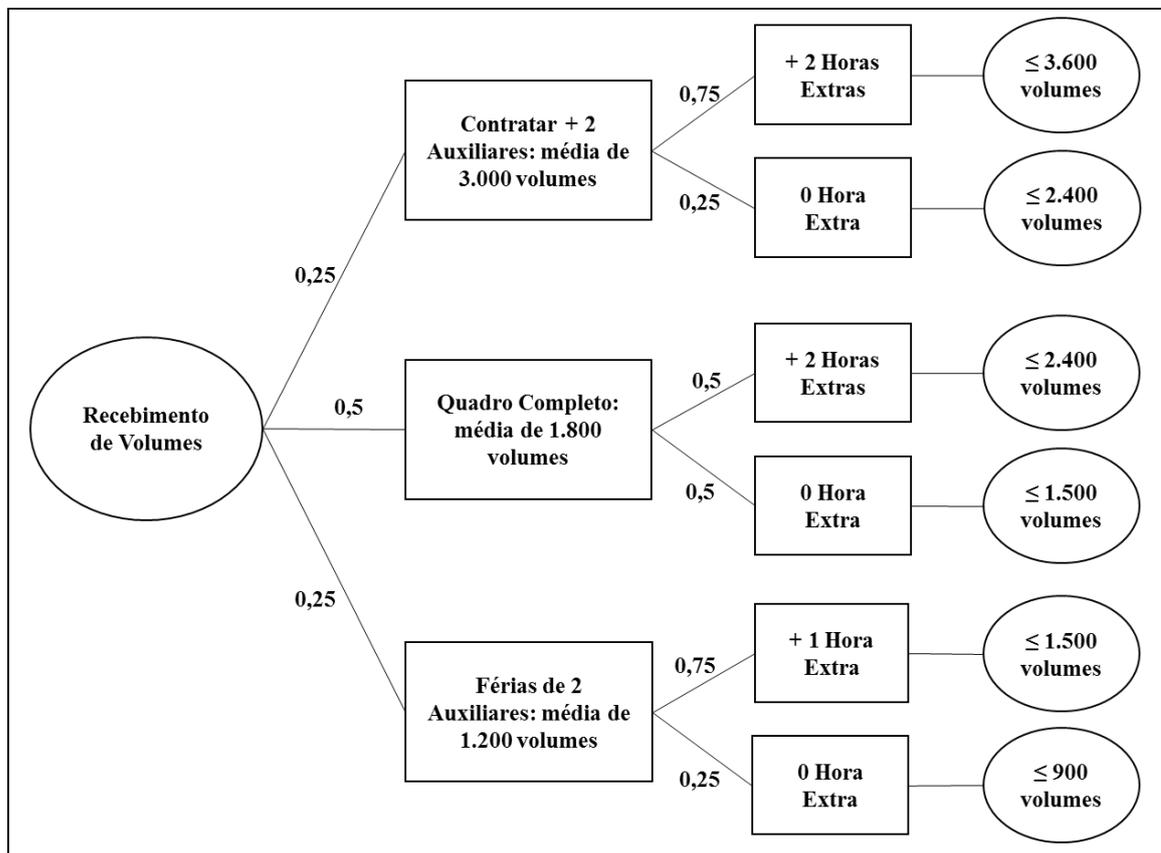
Diante de resultados incertos, a análise de decisão fornece estrutura e metodologia para a tomada de decisão racional, através de critérios, o que envolve um processo racional de seleção da melhor dentre as alternativas (CAUCHICK-MIGUEL et al., 2012; HILLIER et al., 2015). Estes critérios dependem muito do temperamento do tomador da decisão, como também a atitude tomar a decisão (HILLIER et al., 2015).

Os critérios utilizados nesta pesquisa, serão baseados nos 3 axiomas de Kolmogorov, que utiliza probabilidade para determinar o retorno de cada alternativa de decisão. Quanto mais informações, melhor para a criação de um diagrama de árvore de decisão e definição da alocação dos recursos disponíveis nas mais diversas situações (HILLIER; HILLIER, 2015).

Na terminologia de árvores de decisão, os pontos de junção são chamados de nós e as linhas que saem dos nós, são chamadas de ramos. Conforme a Figura 8 existem dois tipos de nós, um nó de decisão, representado por um quadrado, indicando que esta precisa ser tomada naquele ponto. Um nó de evento, representado por um círculo, que indica a ocorrência de um evento aleatório naquele ponto (HILLIER; HILLIER, 2015).

Ainda segundo a Figura 8, os nós de eventos são as chegadas de volumes ou resultado do recebimento deles e os nós de decisão são a manutenção da mão-de-obra para execução do fluxo da atividade. Já os ramos, aparecem com os pesos de quando, na média de um ano, são necessárias contratações, férias e realização de horas extras de trabalho.

Figura 8 - Exemplo de uma árvore de decisão com dados reais desta pesquisa



Fonte: adaptado de Hillier e outros (2015)

As árvores de decisão são muito utilizadas em modelos aditivos para classificar as opções de decisão que se tem, sendo assim, os pesos fazem o importante papel de valorizar cada ramo da solução. Estes valores aparecem como ponderação de atributos auxiliando no processo de escolha por parte do gestor, cujo comportamento não pode ser mensurado ou medido para que

a melhor das alternativas seja de acordo com a de maior peso para sua decisão (VROLIJK; RAIMO; MARI, 2001).

O próprio processo de indução de árvores de decisão é determinístico. Porém a probabilidade na simulação do comportamento de escolha decorre da natureza estocástica das árvores de decisão. Isso significa que toda definição de uma ação requer um empate dos estados de ação probabilísticos, o que pode terminar em um resultado diferente da decisão. Essa característica é essencial para avaliar a incerteza do modelo e a propagação de erros em sistemas de modelos complexos (KIM; RASOULI; TIMMERMANS; YANG, 2018).

Vrolijk et. al. (2001) afirmam que existem duas origens principais para esses vieses de ponderação. A primeira origem é que as respostas dos tomadores de decisão não descrevem a força de suas preferências, mas refletem apenas informações originais, ou seja, classificação, sobre as elas. A segunda origem é a normalização dos pesos. Isso faz com que os pesos dos atributos dependam do número de atributos comparados simultaneamente.

DU e LINERO (2018) em seus estudos sobre de previsões comparativas de orçamentos, chamaram de florestas os conjuntos de árvores de decisão. Pois a interação delas se faz necessária por conta da interdependência na relação de processos que existem nas empresas, fazendo com que o alcance da previsão realizada se torne muito próxima do planejado e inclusive facilita bastante o uso dos dados nas modelagens de simulação.

As organizações possuem funções que em geral processam insumos, que podem ser materiais, energia, informações etc. e usam recursos de transformação como máquinas, equipamentos, área, pessoas, sistemas e outros. Sendo as saídas um composto de bens físicos e serviços que compõem um determinado “pacote de valor” entregue ao cliente (CORRÊA; CORRÊA, 2012).

Ainda segundo Corrêa e outros (2012), um gestor de operações é basicamente um gestor de recursos, partindo da ideia de escassez e por isso a necessidade da gestão, assim é importante entender que estes recursos merecerão prioridade na alocação de esforço de desenvolvimento. É importante que o gestor saiba qual ação será disparada sobre os recursos disponíveis, para o rápido alcance do resultado da operação como um todo. Como as necessidades de decisão são muitas e múltiplas, estas decisões são agrupadas em áreas como capacidade, produtividade e gestão da demanda.

3 METODOLOGIA

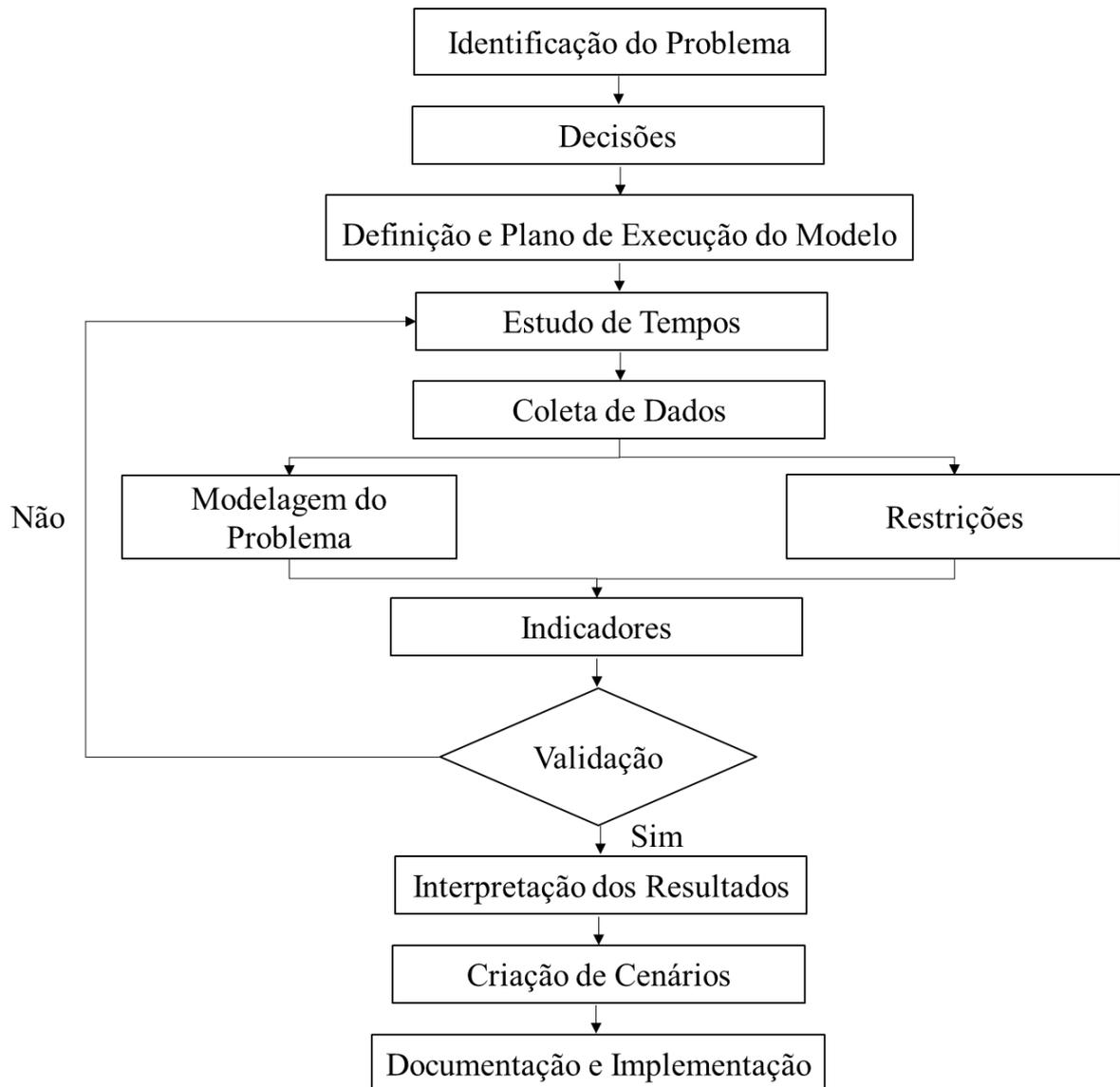
O foco para a solução do problema desta pesquisa é identificar, dentro de dois modelos de distribuição logística, qual o melhor balanceamento da operação de forma a garantir satisfatoriamente o abastecimento dos estoques nos pontos de entrega. Segundo Vergara (2014), a intenção para a caracterização do problema em questão é entender por que ocorrem determinados fenômenos, quando se opta por um, por outro ou pelos dois modelos operacionais flexivelmente.

De natureza quantitativa na mensuração de variáveis, a coleta dos dados foi feita através de interpretação e análise da gestão em campo, com a base comparativa entre os anos de 2018 e 2019. Assim, o decisor poderá escolher quais as melhores alternativas para alocação de recursos dentro do CD, acompanhando a evolução da série de acordo com as diferentes oscilações de demanda durante um ano de calendário da rede varejista (CAUCHICK-MIGUEL et al., 2012).

Ainda segundo Cauchick-Miguel e outros (2012), as técnicas de modelagem utilizadas serão baseadas em documentação direta com observação participante. Desta forma, o pesquisador interfere no objeto de estudo de forma cooperativa, em conjunto com os participantes do grupo de gestores responsáveis pela operação logística e com o objetivo de tornar a operação regular o bastante para realizar, o mais estável possível, a distribuição de produtos na rede varejista.

A modelagem, segundo Nakano e outros (2018), compreende o uso de técnicas matemáticas para descrever o funcionamento de um sistema ou parte dele e propõe etapas inter-relacionadas de acordo com a Figura 9. Por fim, os resultados do modelo de simulação funcionarão como parte fundamental do processo final para análise de decisão, que segundo Lachtermacher (2009), é a oportunidade e a seleção de uma linha de ação para resolver um problema. No final, as sínteses em árvores de decisão montadas para os cenários reais, segundo Hillier e outros (2015), ajudarão a mitigar ações dentro do CD e concluirão o modelo de gestão apresentado neste trabalho com o objetivo de definir caminhos para encontrar as melhores soluções para o atingimento dos níveis de serviço logístico acordados.

Figura 9 - Etapas do estudo de modelagem



Fonte: adaptado de Lachtermacher (2009) & Hillier e outros. (2015)

3.1 ESTUDO DE TEMPOS

O estudo de movimentos e tempos é o estudo sistemático dos sistemas de trabalho com os seguintes objetivos: 1) desenvolver o sistema e o método preferido, geralmente o de menor custo; 2) padronizar o sistema e o método definidos; 3) determinar o tempo gasto por uma pessoa qualificada na atividade, trabalhando em um ritmo normal; 4) orientar o treinamento do trabalhador no sistema e no método preferidos (BARNES, 2009). Ou seja, trata-se de uma análise usada na determinação de tempo para se realizar uma tarefa normalmente e pode também ser usada para definir necessidades e ajudar no planejamento. Ainda segundo Barnes (2009), por se tratar de um processo de amostragem, quanto maior o número amostras de tempo

coletadas, melhor será a média extraída e, conseqüentemente, mais representativos serão os resultados obtidos.

3.1.1 Registro das Informações necessárias

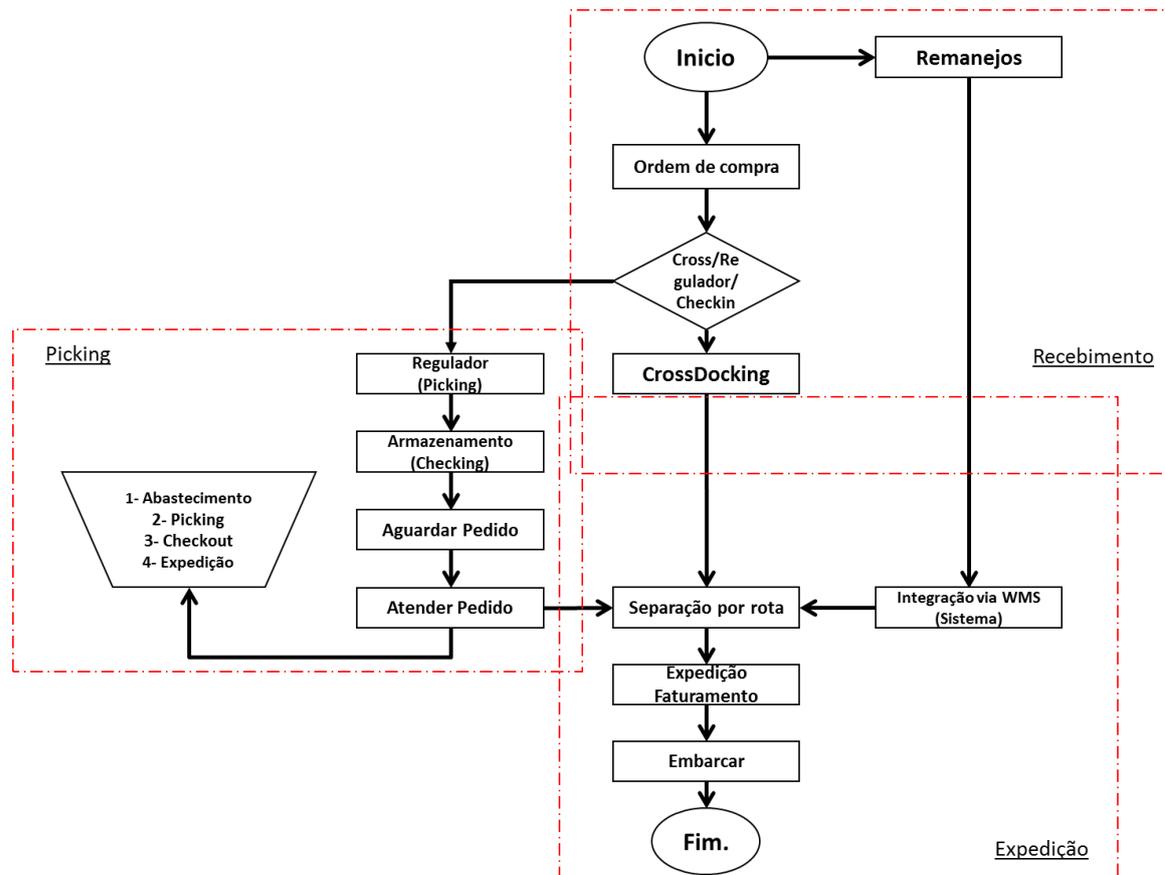
Algumas entidades são distintas na medida em que dão origem a requisitos de dados. Embora eles entrem naturalmente no diálogo sobre as interações que precisam ser identificadas na formulação do modelo, isso ocorre apenas em um nível relativamente abstrato. Essa visão abstrata é adequada até certo ponto, mas a geração de comportamento real não pode ocorrer até que os requisitos de dados sejam atendidos. Com efeito, os dados servem para "energizar" a especificação geral do modelo (BIRTA; ARBEZ, 2013).

Devido ao tamanho da operação e a sua complexidade, foi necessária a divisão da operação no CD em três áreas macro para facilitar a construção do modelo. Assim, o recebimento, *picking* e expedição são interdependentes e se inter-relacionam, por provocarem impactos na gestão operacional da logística do CD como um todo (PADILHA et al., 2020). Além disso, a variação sazonal da demanda, de acordo com o calendário comercial, exige esforços para o atendimento nos momentos de "pico", como também do desprendimento de recursos nos momentos de "baixa".

Além disso, foi necessária à coleta dos tempos e utilizada a distribuição *t-student*, que segundo Montgomery e Runger (2014) cuidadosamente define, em até 30 amostras necessárias, valores mais precisos e conservadores, em cada atividade macro das áreas estudadas. Outros dados de volumetria realizados pela operação como: quantidade de itens trabalhados, quantidade de funcionários necessários e quantidade de equipamentos disponíveis no período entre os anos 2018 e 2019, se fizeram necessários para a modelagem das simulações.

A Figura 10 ilustra as etapas do "fluxo macro" da operação do CD em análise, apresentando uma inter-relação entre as atividades no processo de recebimento, movimentação interna, armazenagem, separação, ou *picking* e expedição dos volumes para o suprimento da rede de lojas varejista. Além destas atividades, existe também o trabalho de coleta e entrega de produtos que precisam ser enviados de uma loja para outra, por motivos como falta de venda, não aceitação em determinada praça, promoções e remarcações de preço, chamada de operação de remanejo entre lojas.

Figura 10 - Fluxo de processos para a modelagem na operação do CD Varejista



Fonte: O Autor (2020)

3.1.1.1 Área de Recebimento

É a área responsável pela descarga dos caminhões e pelo agrupamento dos volumes, vindos dos fornecedores. Além disso, também serão definidas as quantidades que seguirão diretamente para as lojas, em *crossdocking*, ou as quantidades que ficarão no estoque do CD para posterior separação dos itens internos através da gestão de pedidos, como estão informados na Tabela 1. Que também apresenta a capacidade média de recebimento, a produtividade média e a capacidade média por pessoa, em cada mês.

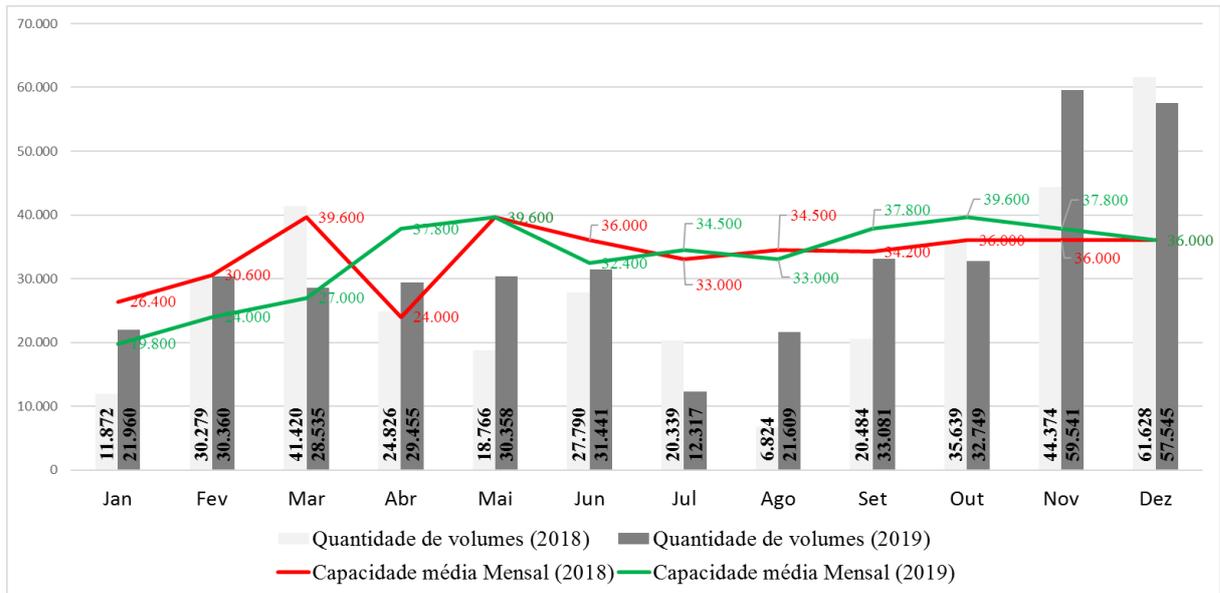
Tabela 1 - Dados coletados da operação de recebimento nos anos 2018 e 2019

Dias úteis trabalhados		22	17	22	20	22	20	22	23	19	20	20	20
Meses do ano de 2018		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	Quantidade de volumes (2018)	11.872	30.279	41.420	24.826	18.766	27.790	20.339	6.824	20.484	35.639	44.374	61.628
	Quantidade de volumes em <i>crossdocking</i>	8.574	21.867	29.914	17.929	13.553	20.070	14.688	4.928	14.794	25.738	32.047	44.508
	Quantidade de volumes em <i>picking</i>	3.298	8.412	11.507	6.897	5.213	7.720	5.650	1.896	5.691	9.901	12.327	17.120
	Pessoas envolvidas (Auxiliares)	4	6	6	4	6	6	5	5	6	6	6	6
	Produtividade média (volume/dia/pessoa)	135	297	314	310	142	232	185	59	180	297	370	514
	Capacidade média diária (300/pessoa/dia)	1.200	1.800	1.800	1.200	1.800	1.800	1.500	1.500	1.800	1.800	1.800	1.800
	Capacidade média Mensal (2018)	26.400	30.600	39.600	24.000	39.600	36.000	33.000	34.500	34.200	36.000	36.000	36.000
Dias úteis trabalhados		22	20	18	21	22	18	23	22	21	22	21	20
Meses do ano de 2019		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2019	Quantidade de volumes (2019)	21.960	30.360	28.535	29.455	30.358	31.441	12.317	21.609	33.081	32.749	59.541	57.545
	Quantidade de volumes em <i>crossdocking</i>	15.860	21.926	20.608	21.272	21.925	22.707	8.895	15.606	23.891	23.651	43.001	41.559
	Quantidade de volumes em <i>picking</i>	6.100	8.434	7.927	8.183	8.433	8.734	3.422	6.003	9.190	9.098	16.540	15.986
	Pessoas envolvidas (Auxiliares)	3	4	5	6	6	6	5	5	6	6	6	6
	Produtividade média (volume/dia/pessoa)	333	380	317	234	230	291	107	196	263	248	473	480
	Capacidade média (300/pessoa/dia)	900	1.200	1.500	1.800	1.800	1.800	1.500	1.500	1.800	1.800	1.800	1.800
	Capacidade média Mensal (2019)	19.800	24.000	27.000	37.800	39.600	32.400	34.500	33.000	37.800	39.600	37.800	36.000

Fonte: O Autor (2020)

Ainda é possível observar a oscilação da demanda, que exige uma flexibilidade do CD para o aumento de sua capacidade e com isso realizar a absorção da alta demanda. Este ponto está bem ilustrado na Figura 11, que também exhibe as capacidades médias de cada ano comparadas com os picos de operação de cada mês.

Figura 11 - Volume da operação de recebimento (em caixas) nos anos 2018 e 2019



Fonte: O Autor (2020)

3.1.1.2 Área de *Picking*

Diferentemente do modelo de *crossdocking*, que segue diretamente da descarga dos caminhões no CD para as lojas, a metodologia do *picking* se baseia na gestão dos pedidos, de acordo com a venda do dia, automaticamente inseridos pelo sistema ERP. Depois, em interface com o sistema WMS, são geradas ondas de separação de produtos para a criação de volumes com variedade de produtos dentro das caixas, independentemente do fabricante, tamanho, cor, referência e tipo de produto.

Na Tabela 2, é possível observar a demanda anual de solicitações automáticas para separação dos produtos que ficaram armazenados no estoque do CD e a capacidade média mensal de 2018 e 2019. O gatilho é acionado no sistema WMS informando a necessidade de separação daquele item, quando há venda em cada loja da rede e assim por diante. Nessa repetição de processos, há a composição de uma caixa e depois de um palete, loja por loja, resultando num volume diário de produtos que seguirão para a área de expedição, que é encarregada de consolidar toda a produção do dia e embarcar de acordo com as frequências das rotas de entrega.

Tabela 2 - Dados coletados da operação de picking nos anos 2018 e 2019

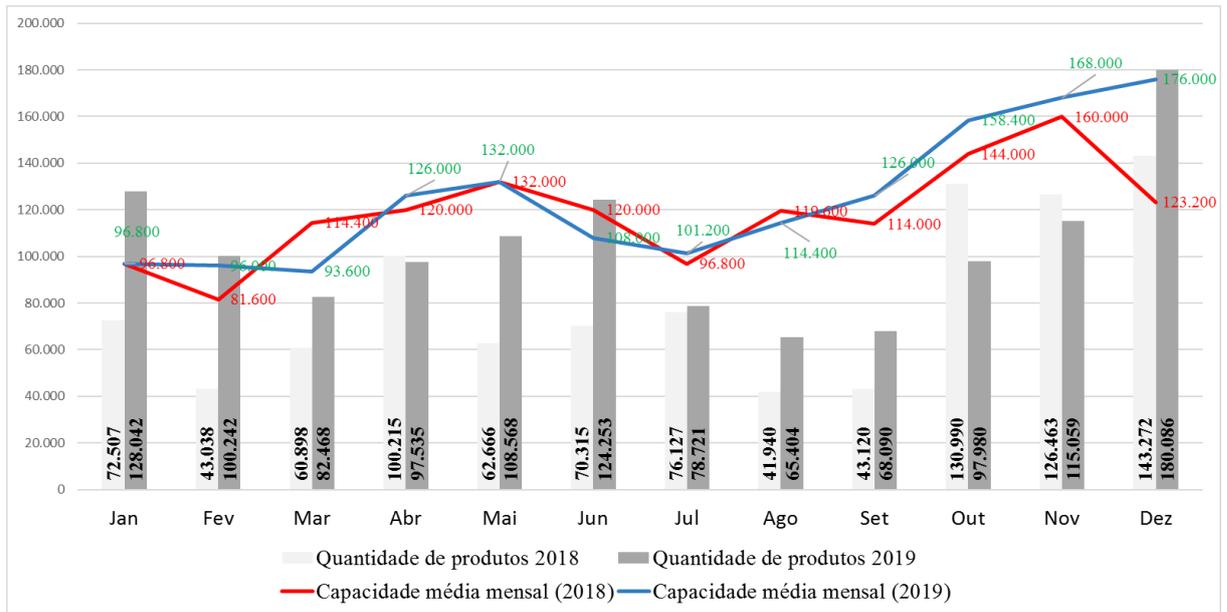
Dias úteis trabalhados		22	17	22	20	22	20	22	23	19	20	20	14
Meses do ano de 2018		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	Quantidade de produtos 2018	72.507	43.038	60.898	100.215	62.666	70.315	76.127	41.940	43.120	130.990	126.463	143.272
	Pessoas Envolvidas (auxiliares)	11	12	13	15	15	15	11	13	15	18	20	20
	Produtividade diária itens (2018)	3.296	2.532	2.768	5.011	2.848	3.516	3.460	1.823	2.269	6.550	6.323	10.234
	Capacidade média diária itens	4.400	4.800	5.200	6.000	6.000	6.000	4.400	5.200	6.000	7.200	8.000	8.800
	Capacidade média mensal (2018)	96.800	81.600	114.400	120.000	132.000	120.000	96.800	119.600	114.000	144.000	160.000	123.200
Dias úteis trabalhados		22	20	18	21	22	18	23	22	21	22	21	20
Meses do ano de 2019		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2019	Quantidade de produtos 2019	128.042	100.242	82.468	97.535	108.568	124.253	78.721	65.404	68.090	97.980	115.059	180.086
	Pessoas Envolvidas (auxiliares)	11	12	13	15	15	15	11	13	15	18	20	20
	Produtividade diária itens (2019)	5.820	5.012	4.582	4.645	4.935	6.903	3.423	2.973	3.242	4.454	5.479	9.004
	Capacidade média diária itens	4.400	4.800	5.200	6.000	6.000	6.000	4.400	5.200	6.000	7.200	8.800	8.800
	Capacidade média mensal (2019)	96.800	96.000	93.600	126.000	132.000	108.000	101.200	114.400	126.000	158.400	184.800	176.000

Fonte: O Autor (2020)

As solicitações automáticas se repetem continuamente, 24 horas por dia, até que o estoque regulador termine o saldo do produto. Estão armazenados no CD, em média, entre 1.000 e 2.000 SKU's, abreviatura da sigla em inglês *stock keep unit*, ou unidade mantida em estoque. Quando se fala em calçados, as diferentes numerações podem elevar estas unidades para mais de 24.000 SKU's disponíveis para reposição de venda.

A Figura 12 compara produtividade e a capacidade do *picking* em 2018 e 2019. É possível observar que o giro da venda na rede de calçados aumenta muito no seu pico, sempre nos dois últimos meses de cada ano, fazendo com que a quantidade de solicitações aumente em até 70% de sua condição normal.

Figura 12 - Volume da operação de picking (em itens) nos anos de 2018 e 2019



Fonte: O Autor (2020)

3.1.1.3 Área de Expedição

É o setor responsável pela consolidação de todos os volumes que chegam das áreas de recebimento, através do *crossdocking* e do *picking*, através da gestão de pedidos do dia. Nela, também é feita a roteirização dos volumes que seguirão para cada loja, por região geográfica, com o fim de carregamento dos veículos para distribuição de forma otimizada, pela quantidade máxima de cubagem em cada um e pelo caminho mais curto de um ponto de destino para outro.

Na Tabela 3, é possível observar as quantidades de volumes manuseados pela área de expedição em 2018 e 2019, bem como a quantidade de funcionários envolvidos na operação de acordo com os meses de maior e menor volumes. Com isso, é possível definir as capacidades e produtividades médias mensais atreladas a cada período.

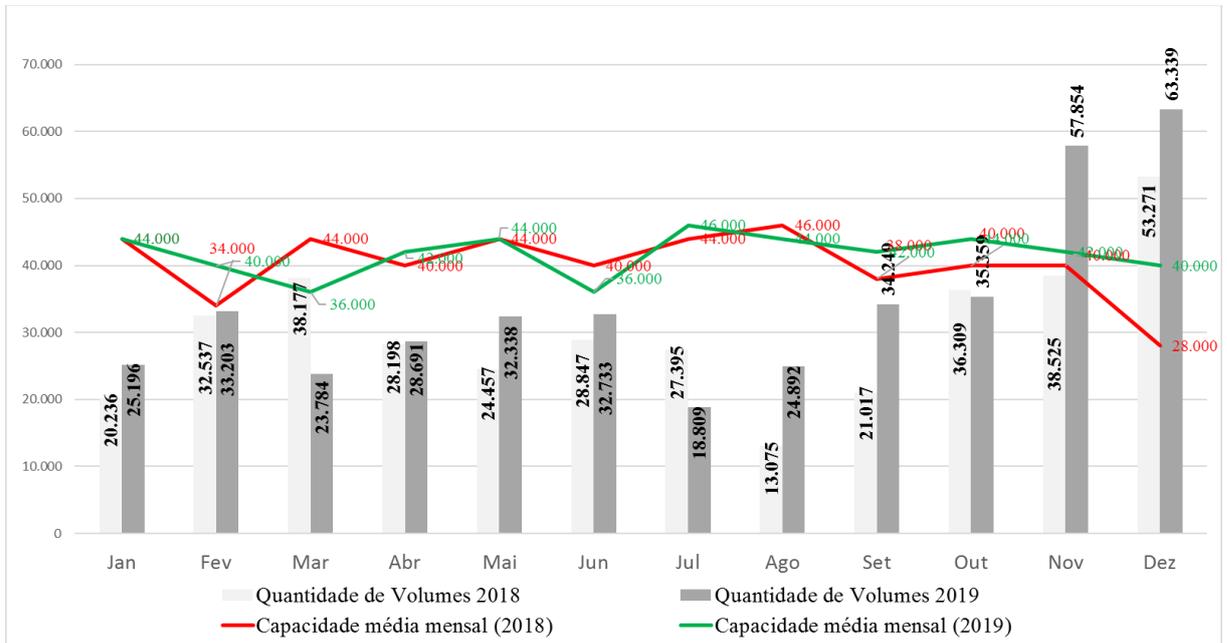
Tabela 3 - Dados coletados da operação de expedição nos anos de 2018 e 2019

Dias úteis trabalhados		22	17	22	20	22	20	22	23	19	20	20	14
Meses do ano de 2018		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	Quantidade de Volumes 2018	20.236	32.537	38.177	28.198	24.457	28.847	27.395	13.075	21.017	36.309	38.525	53.271
	Pessoas envolvidas (Auxiliares)	12	12	13	13	14	14	13	12	12	12	12	12
	Produtividade média (dia/pessoa)	77	159	133	108	79	103	96	47	92	151	161	317
	Capacidade média (2.000/dia)	167	167	154	154	143	143	154	167	167	167	167	167
	Capacidade média mensal (2018)	44.000	34.000	44.000	40.000	44.000	40.000	44.000	46.000	38.000	40.000	40.000	28.000
Dias úteis trabalhados		22	20	18	21	22	18	23	22	21	22	21	20
Meses do ano de 2019		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2019	Quantidade de Volumes 2019	25.196	33.203	23.784	28.691	32.338	32.733	18.809	24.892	34.249	35.359	57.854	63.339
	Pessoas envolvidas (Auxiliares)	8	8	8	10	12	11	12	11	11	11	11	11
	Produtividade média (dia/pessoa)	143	208	165	137	122	165	68	103	148	146	250	288
	Capacidade média (2.000/dia)	250	250	250	200	167	182	167	182	182	182	182	182
	Capacidade média mensal (2019)	44.000	40.000	36.000	42.000	44.000	36.000	46.000	44.000	42.000	44.000	42.000	40.000

Fonte: O Autor (2020)

A Figura 13 ilustra as oscilações da demanda operacional e a preparação do CD para o acompanhamento dela. Também é possível visualizar que existe, em alguns momentos, uma superestimação no planejamento do setor, uma vez que a expedição opera também com outras demandas administrativas, como materiais de almoxarifado e propaganda, que se utilizam dos canais de entrega disponíveis pela frota de veículos para fazer o envio destes materiais até as lojas.

Figura 13 - Volume da operação de expedição (em caixas) nos anos de 2018 e 2019



Fonte: O Autor (2020)

3.1.2 Divisão da Operação em Elementos

As três áreas apresentadas, neste estudo, serão subdivididas em atividades ou processos, a fim de tornar a análise mais assertiva. As operações das áreas de recebimento, *picking* e expedição, serão subdivididas, assim como a quantidade de medições iniciais para cada um.

3.1.2.1 Área de Recebimento

- Etiquetagem:
 - Descrição do método: processo de colagem de etiquetas de identificação de distribuição nos volumes que compõem os paletes;
 - Amostragem inicial: 20 ou mais ciclos para cada paleta formado.
- Repaletização por rota:
 - Descrição do método: processo de retirada de volumes dos paletes, anteriormente formados para a etiquetagem, a fim de formar outros paletes que seguirão para as rotas de expedição; modelo de *crossdocking*;
 - Amostragem inicial: 20 ou mais ciclos para cada paleta formado.
- *Checkin*:

- Descrição do método: processo de abertura dos volumes, a fim de realizar a conferência dos produtos internamente, antes do envio para a área de estocagem e disponibilização para o atendimento, por separação, das solicitações automática; modelo de *picking*;
- Amostragem inicial: 20 ou mais ciclos para cada volume verificado.

3.1.2.2 Área de *Picking*

- Armazenamento:
 - Descrição do método: processo de descer os volumes colocados nas posições aéreas da estrutura porta-paletes, abertura e alocação dos produtos nas posições disponibilizadas para a atividade de separação;
 - Amostragem inicial: 20 ou mais ciclos para cada palete baixado.
- Separação:
 - Descrição do Método: processo de pegar os produtos nas prateleiras, por rua, e acondicioná-los em novos volumes até a consolidação do atendimento da solicitação automática de determinada loja constante no sistema WMS;
 - Amostragem inicial: 20 ou mais ciclos para a montagem de um novo volume por loja.
- *Checkout*:
 - Descrição do método: processo de conferência no *picking* por volume, do que foi separado, antes do despacho para a área de expedição;
 - Amostragem inicial: 20 ou mais ciclos para cada volume aberto.
- Expedição:
 - Descrição do método: processo de consolidação de vários volumes em um palete por loja, confirmado em sistema, antes do envio para as rotas de expedição;
 - Amostragem inicial: a partir desta atividade do *picking* e das duas próximas na expedição, se exige dos operadores o manuseio de caixas com alta variabilidade de tamanhos e pesos, por isso foram coletados 30 ou mais ciclos para cada palete formado.

3.1.2.3 Área de Expedição

- Separação por loja:
 - Descrição do método: processo de retirada de volumes dos paletes vindos do recebimento e do *picking*, para a formação de novos paletes por loja;
 - Amostragem inicial: 30 ou mais ciclos para cada palete formado.
- Faturamento e Carregamento:
 - Descrição do método: processo de retirada dos volumes dos paletes de cada loja e o carregamento dos veículos de distribuição;
 - Amostragem inicial: 30 ou mais ciclos para cada veículo finalizado.

3.1.3 Coleta de Dados

Há uma interação constante entre a construção do modelo e a coleta dos dados de entrada necessários. À medida que a complexidade do modelo muda, os elementos de dados necessários também podem modificar. Além disso, como a coleta de dados ocupa uma grande parcela do tempo total necessário para executar uma simulação, se faz necessário começá-la o mais cedo possível, geralmente junto com os estágios iniciais da construção do modelo. Os objetivos do estudo ditam, em grande parte, os tipos de dados a serem coletados (BANKS; CARSON II; NELSON; NICOL, 2014).

Os registros da operação, anteriormente apresentados, servirão de base para a modelagem dos sistemas e confrontados com os dados coletados em campo através de cronoanálise. Este estudo irá apresentar dados reais dos processos do CD, os quais servirão para o acervo da empresa, que por sua vez ainda não tinha utilizado técnicas de medição de tempos e movimentos.

Barnes (2009) afirma que para garantir que os tempos coletados de fato representem a realidade, se faz necessária a aplicação da técnica em campo. Com isso, se evita a perda de representatividade do modelo com a realidade, garantindo assim a minimização de possíveis problemas na fase de validação.

3.1.3.1 Determinação e Verificação do Número de Ciclos

A coleta inicial foi baseada no procedimento da *Maytag Company*, o qual afirma que para cada atividade que dura menos do que dois minutos, se faz necessária à coleta inicial de, pelo menos, 10 medições, para que se tenha uma amostragem inicial acurada (BARNES, 2009). Porém, devido à variabilidade da operação e de seus componentes foi realizada uma adaptação para o caso de estudo em que se fizeram necessárias as medições de 20 tempos para os produtos em formato de *crossdocking*, pois possuem um formato padrão de caixa. Outras amostras foram coletadas com 30 tempos para os casos dos volumes que são formados no *picking*, devido à alta variabilidade do formato das embalagens, impactando também nas medições da expedição.

No estudo de tempos e movimentos, a cronoanálise deve seguir um processo de amostragem. Portanto, quanto maior o número de ciclos, mais próximo da realidade será o resultado obtido (MONTGOMERY; RUNGER, 2014).

O número de medidas a serem coletadas depende diretamente da variabilidade das medidas, da precisão desejada (ϵ) e do nível de confiança (α). O método utilizado para a quantidade de ciclos medidos usou a seguinte fórmula definida por (Barnes, 2009), de forma a garantir o melhor índice de certeza (α) possível de que o tempo real está $\epsilon\%$ para mais ou para menos do valor médio obtido nas medições de tempo (BARNES, 2009; MONTGOMERY; RUNGER, 2014).

$$n = \left(\frac{TS}{\epsilon x} \right)^2$$

Em que:

n = Número mínimo de ciclos que devem ser cronometrados;

S = Desvio padrão amostral das cronometragens colhidas;

ϵ = Precisão, ou seja, a variação admissível do tempo médio real em relação à média obtida na amostra, com a confiança desejável.

T = Número obtido na tabela da distribuição *t-Student* com $N - 1$ graus de liberdade (variando o ϵ de acordo com N fixo de cada atividade);

x = Média Amostral.

Porém:

- Devido à operação ser altamente variável, o n foi fixado em 20 ou 30 medições;
- Com isso, buscou-se a redução da taxa de ϵ ao máximo em cada atividade medida;
- Bem como a redução do valor T de acordo com a quantidade de amostras;

- Este ajuste foi necessário para “encaixar” as complexas particularidades da operação, encontrando assim a melhor distribuição de probabilidade de acordo com os dados coletados.

3.1.3.2 Cronoanálise

Como o interesse deste estudo é exclusivamente por sistemas dinâmicos, existe uma variável comum a todos os modelos que consideramos, a saber, o tempo. Além de sua difusão, o tempo é uma variável especial por duas razões adicionais. Primeiro de tudo, é uma variável "primitiva" no sentido de que seu valor nunca depende de nenhuma outra variável. Em segundo lugar, e em contraste direto, a maioria das outras variáveis são funções do tempo (BIRTA; ARBEZ, 2013).

A observação do tempo de atividades quando medida é fundamental para a modelagem do problema de simulação (CAUCHICK-MIGUEL et al., 2012), pois ela definirá juntamente com os dados coletados, o que se espera do sistema no tocante às capacidades operacionais e às restrições de recursos disponíveis como: mão-de-obra, *layout* e equipamentos necessários.

Esta fase é fundamental para a validação do modelo de simulação porque apresenta as necessidades de recursos humanos necessárias para o atendimento da demanda média dos três fluxos macro estudados na operação do CD: recebimento, *picking* de produtos e expedição. Estas medições foram feitas através de cronoanálise, em um cronômetro comum, desde o início de cada atividade até a sua conclusão.

Porém, dificilmente o input de dados na modelagem terá um banco de dados com todas as informações necessárias ao modelo. Quanto mais complexa a operação a ser simulada, mais dados sobre o sistema real são necessários (HILLIER; HILLIER, 2015,). Para o estudo em questão, foram coletados dados brutos sobre o desempenho do sistema, assim como o tempo médio de cada atividade.

Contudo, dada a enorme complexidade da operação logística, seria praticamente inviável coletar todas as amostras dos tempos requeridas para se manter o número de amostras numa taxa de erro praticamente nula. Pois existe uma enorme quantidade de tamanhos de caixas diferentes que circulam diariamente na operação e com isso são gerados impactos na produtividade da operação, desde o manuseio dos volumes, até a formação dos paletes e seus transportes dentro do CD.

Para contornar este problema, a modelagem considerou que os tempos seriam coletados individualmente por cada funcionário e que a média da amostra é o que importa. O número de

amostras variou entre 20 e 30 medições, diminuindo assim o valor de T em relação ao aumento das medições.

Observou-se também que para reduzir o tamanho da amostra necessária, foram ajustadas as taxas de erro, porém houve casos que foram necessárias mais medições para melhorar a precisão. No qual, devido à complexidade da operação e a quantidade de amostras necessárias, foi considerado o N fixo para buscar reduzir o ϵ ao máximo em cada atividade. Isto ocorre por conta das diferenças encontradas na formação dos paletes nos setores de *picking* e expedição mais precisamente, devido à variação no formato das caixas.

Todos estes ajustes viabilizaram uma análise estatística de acordo com a realidade da operação, de modo a encontrar as distribuições de probabilidade que melhor se adequaram aos dados coletados, com a precisão requerida para encaixar a variabilidade que a operação determina.

A primeira etapa do fluxo logístico do centro de distribuição é o recebimento, partindo do estado em que a descarga dos veículos é feita pelos próprios fornecedores, é possível observar na Tabela 4 que a primeira atividade deste setor é a etiquetagem dos volumes nos paletes. Feito isto, parte-se para a segunda fase do processo que é a repaletização, tarefa de desmontar as caixas de um palete e consolidar em outro, por rotas de embarque e estoque do armazém. Por último, foi realizada a medição da atividade de *checkin*, que é justamente a conferência dos produtos internos das caixas que seguirão para o estoque do CD. Os volumes que seguem diretamente para a expedição não são abertos; apenas, é feita uma amostragem aleatória de qualidade para garantir que os lotes chegarão corretamente nas lojas.

Por padrão no planejamento da rede calçadista, 75% dos volumes que chegam ao recebimento irá passar diretamente para as rotas de expedição, na operação de *crossdocking*, sem que sejam necessárias as suas aberturas. Por isso também se verifica na Tabela 4, que foi utilizada uma medição de 20 ciclos para as duas primeiras atividades. Mas quando o manuseio dos produtos aumenta, na atividade de *checkin*, é possível observar que a taxa de erro acompanha este aumento, o que reduz o tamanho da amostra necessária e torna o resultado mais próximo da média.

Tabela 4 - Resultados para o estudo de tempos da área de Recebimento

Recebimento de Produtos			
	Etiquetagem	Repaletização - Rotas	Checkin
Média (s)	74,65	476,40	373,40
Desvio Padrão (s)	34,91	212,17	200,73
Tamanho da amostra	20	20	20
Valor T	2,093	2,093	2,093
Erro (€)	0,22	0,21	0,25
Tamanho da amostra necessário	20	20	20

Fonte: O Autor (2020)

A segunda etapa do sistema estudado é o *picking*, onde ocorre o processo de armazenamento dos paletes, vindos da área de recebimento com as caixas empilhadas nos paletes, em estruturas metálicas chamada de porta-paletes. Cada palete é endereçado em corredores chamados de ruas, sendo estas separadas em quatro seções: esportivo, infantil, masculino e feminino. Após este processo, os produtos ficam disponíveis e o sistema ERP da rede varejista é informado que, quando houver a venda destes produtos nas lojas, podem ser geradas solicitações de reabastecimento dos seus estoques.

A Tabela 5 apresenta o estudo de cronoanálise quando se inicia o processo de *picking* dos produtos, em que primeiramente os paletes armazenados são baixados nas ruas para que haja um novo processo de endereçamento dos produtos, só que agora cada par é retirado da caixa e alocado nos endereços de separação. Feito isto, os pares de calçados estão disponíveis para que o separador siga as orientações do sistema WMS do armazém, para que sejam depositados em novas caixas que irão compor os volumes de separação de cada loja no dia.

Ainda na Tabela 5, quando concluído o volume, um outro operador chamado de conferente inicia o processo de *checkout*, onde há a bipagem de cada item que compõe aquela caixa para depois seguir para a última fase desta etapa que é a paletização, processo de juntar caixas uma sobre as outras em um mesmo palete, por rota de embarque. Quando estas embalagens chegam na expedição, as caixas são identificadas através das etiquetas de separação e alocadas nas áreas de cada loja, aguardando assim o carregamento dos veículos.

Observa-se, contudo, na Tabela 5, que as três primeiras atividades são consideradas mais simples porque consistem em descer os paletes das estruturas, abastecer os endereços de separação, separar e realizar o *checkout*. Exigindo assim apenas a quebra e a formação de

volumes de forma aleatória. Porém o resultado delas impacta na última atividade deste fluxo, uma vez que as caixas podem conter os mais variados formatos, tamanhos e pesos, para a paletização. Desta forma, se fez necessário aumentar o tamanho da amostra e com isso aumentar a precisão, reduzindo o erro, tornado os resultados mais próximos da média.

Tabela 5 - Resultados para o estudo de tempos da área de Picking

Separação de Produtos (Picking)				
	Armazenamento e Baixar	Separação	Checkout (conferência)	Paletização por Rotas
Média (s)	93,25	4174,95	94,70	92,23
Desvio Padrão (s)	40,71	1182,23	28,18	55,00
Tamanho da amostra	20	20	20	30
Valor T	2,093	2,093	2,093	1,699
Erro (€)	0,202	0,132	0,14	0,184
Tamanho da amostra necessário	20	20	20	30

Fonte: O Autor (2020)

Por fim, a terceira e última etapa do sistema é a expedição. Nela, ocorre a consolidação de todo o material produzido no CD, através da separação dos volumes por cada loja, também chamada de repaletização e depois o faturamento, que só ocorre quando de fato irá se efetuar o carregamento dos veículos. A Tabela 6 mostra os tempos gastos nas duas fases citadas acima. É possível entender que os tempos variam muito, uma vez que cada palete pode ser formado pelo *picking* com uma quantidade menor de volumes e estes também serem muitos ou poucos, porque dependem diretamente da performance de venda de cada loja.

Dada a complexidade da medição, entende-se o número grande de amostras e os tamanhos necessários para se obter os resultados mais próximos da média possível. Porém, a área de expedição é vista como o grande *buffer* do CD, termo em inglês que significa área de armazenamento provisório, na qual se aguarda a consolidação de cargas dos outros setores e subsetores da logística de toda a rede varejista.

Tabela 6 - Resultados para o estudo de tempos da área de Expedição

Expedição e Carregamento de Produtos		
	Repaletização por Loja	Faturamento e Carregamento
Média (s)	426,77	303,00
Desvio Padrão (s)	179,08	165,96
Tamanho da amostra	30	30
Valor T	2,050	2,045
Erro (E)	0,156	0,204
Tamanho da amostra necessário	30	30

Fonte: O Autor (2020)

3.2 TESTES DE ADERÊNCIA

Os testes de aderência e suas análises subsequentes são usadas para estimar medidas de desempenho a distribuições de probabilidade para os projetos de sistema que estão sendo simulados (BANKS; CARSON II; NELSON; NICOL, 2014). O sistema Flexsim utiliza uma ferramenta chamada ExpertFit, que verifica de acordo com os tempos dos processos no modelo e, dentre até 32 distribuições de probabilidade, a que melhor se encaixe aos dados da realidade.

As Tabelas 7, 8 e 9 apresentam os resultados das distribuições aprovadas em pelo menos 3 testes de aderência, conforme o ExpertFit. São eles: Anderson-Darling, Kolmogorov-Smirnov e Chi-Square (MONTGOMERY; RUNGER, 2014).

Todas as distribuições de probabilidade utilizadas foram cuidadosamente conferidas para certificar a modelagem de tempo. Ou seja, são muito utilizadas em *software* de simulação por utilizarem parâmetros de localização e de escala, adequando-se bem aos dados coletados. Diversas outras distribuições triangulares aparecem no *ExpertFit*, mas as estimativas dos seus parâmetros apresentaram resultados com um erro maior nos testes de aderência.

Tabela 7 - Resultados do teste de aderência para o recebimento

Recebimento de Produtos	
Atividade	Distribuição de Probabilidade
Etiquetagem	Erlang (4.71, 17.48, 4)
Repaletização	Loglogistic (0.0, 442.42, 3.73)
<i>Checkin</i>	Beta (100.68, 752.439, 0.72, 1)

Fonte: O Autor (2020)

Tabela 8 - Resultados do teste de aderência para o picking

Picking de Produtos	
Atividade	Distribuição de Probabilidade
Baixar e Armazenar	Beta (59.97, 181.878, 1.481, 1.684)
Separação	Erlang (0.281, 18.052, 7.0)
<i>Checkout</i>	Loglaplace (54.400, 33.53, 2.08)
Paletização por Rotas	Weibull (25.621, 71.91, 1.271)

Fonte: O Autor (2020)

Tabela 9 - Resultados do teste de aderência para a expedição

Expedição de Produtos	
Atividade	Distribuição de Probabilidade
Separação por Loja	Beta (134.86, 911.76, 1.358, 2.266)
Faturamento + Carregamento	Beta (55.55, 873.33, 1.365, 3.118)

Fonte: O Autor (2020)

4 MODELO DE SIMULAÇÃO

A essência das técnicas de modelagem para simulação consiste em aproximar da realidade, os processos que compõem um sistema. Trata-se de uma poderosa, intuitiva e flexível ferramenta, que muitos gerentes a consideram uma de suas mais importantes ferramentas para tomada de decisão (HILLIER; HILLIER, 2015).

4.1 DEFINIÇÃO E PLANEJAMENTO DO PROBLEMA

Hillier e outros (2015) afirmam que esta é fase a principal de um modelo de simulação, onde são definidos o escopo e a formulação do problema, os objetivos do modelo, quais os meios que serão utilizados para a sua modelagem, além de determinar o esboço do modelo conceitual.

Este estudo de caso apresenta a modelagem e simulação de um CD que opera, de forma híbrida, com dois conceitos de distribuição logística para o abastecimento de 60 lojas em uma rede varejista de calçados no Nordeste brasileiro. Hoje, a operação está balanceada para uma média de tudo que é recebido pelo CD em um ano, ser em torno de 25% para a área de estocagem (*picking*) e 75% dos produtos seguirem diretamente para os pontos de venda, através de operação *crossdocking*.

Este percentual quando se altera, para mais ou para menos, em ambos os conceitos, faz com que haja uma realocação dos recursos disponíveis no CD. O grande desafio é encontrar a solução ótima com as máquinas, equipamentos, recursos humanos, insumos e espaço, existentes dentro da operação. A gestão logística passa a encontrar dificuldades de atendimento, quando esta demanda se eleva em relação à capacidade operacional do CD, gerando gargalos e fila no fluxo do recebimento, *picking* e da expedição (PADILHA et al., 2020).

A Figura 2, apresentada no Capítulo 1, ilustra exatamente a relação inversa de proporcionalidade de acordo com o conteúdo dos volumes. Observa-se que para o volume feito na área de *picking*, se tem uma variedade interna maior de produtos, o que leva a entender mais manuseio de produtos e acondicionamento de embalagens. Para o *crossdocking*, o que se observa é o contrário, ou seja, trata-se do envio direto dos volumes para as lojas sem que haja a abertura das caixas, exigindo menos manuseio e conseqüentemente menos custo para a operação. É importante dizer que este trabalho não explorará planilha de custos, mas sim dentro dos recursos disponíveis no CD, ajudará a entender qual a melhor alocação deles e o posterior atendimento da demanda de acordo com o planejamento do calendário e da venda em loja.

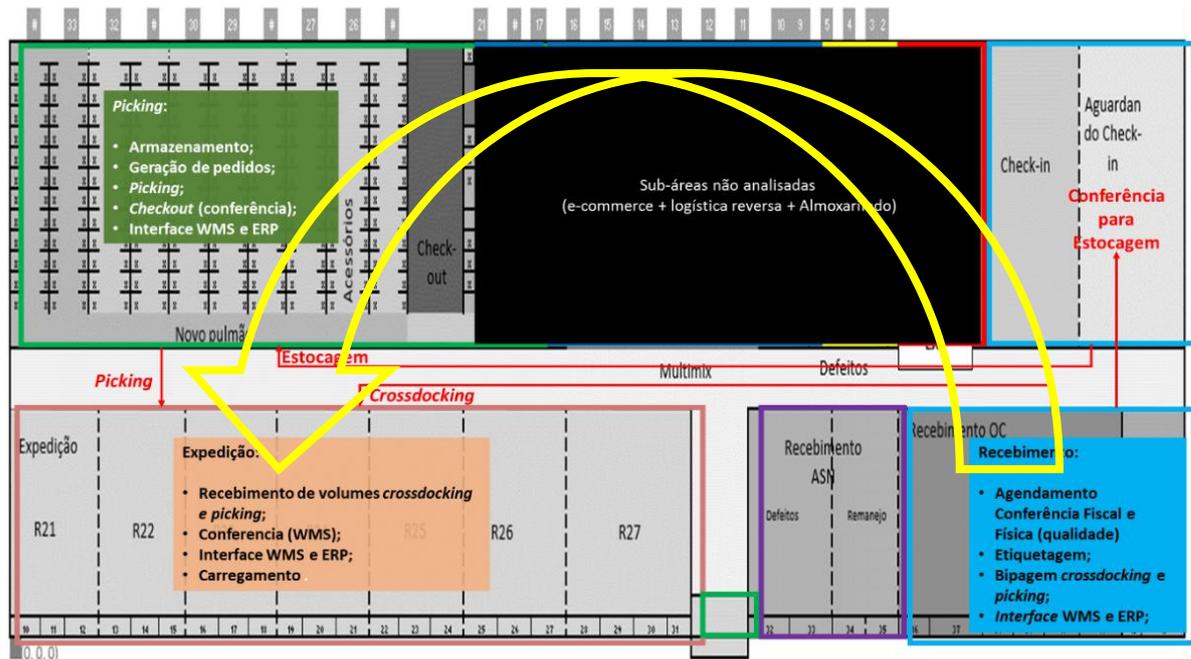
Ações como horas extras (HE), aluguel de outras máquinas e equipamentos, compras de mais insumos, por exemplo, são tomadas pela gerência a curto prazo para aliviar a pressão dentro do armazém causada pela maior volumetria concentrada em curtos espaços de tempo. Porém, algumas datas já são previstas como de alto volume, onde o comprador fomenta a logística com informações de fornecedores, datas de entrega, tipos de produto e outras particularidades (PADILHA et al., 2020).

Na rede varejista estudada, existem quatro grandes grupos de produtos e que são chamados de seções ou categorias, são eles: o feminino, o masculino, o infantil e o esportivo. Cada um é composto tanto por calçados, quanto por acessórios, como por exemplo cintos, carteiras, meias, bolsas, mochilas, bolas, roupas, entre outros.

A Figura 14 apresenta o fluxo operacional do CD em estudo neste trabalho, observando-se a letra “U de forma contrária”, onde o início da operação se dá no recebimento e o direcionamento dos produtos que seguirão diretamente para as docas de expedição, através do modelo de *crossdocking*. Na parte superior do *layout*, fica a área de estocagem para o atendimento das lojas apenas quando houver a venda do produto, com a informação automática passada pelo sistema ERP de toda a rede ao sistema WMS do CD, culminando com o processo de separação ou *picking* de produtos pelos colaboradores da logística (BALLOU 2010).

Ainda na Figura 14, é possível perceber que o setor da expedição é o grande receptor de tudo o que é processado no armazém. As rotas de carregamento servem para acondicionar os produtos oriundos dos outros setores a fim de aguardarem o embarque para as lojas destino de acordo com as frequências de carregamento.

Figura 14 – Fluxo macro de processos no CD para o atendimento da rede calçadista



Fonte: O Autor (2020)

O direcionamento da operação logística para o modelo de distribuição adotado é feito pela área de planejamento no sistema ERP, quando é realizado um pedido de compra junto ao fornecedor. Feito isso, o ERP já “avisa” ao WMS que em determinada data chegarão os produtos informados, no formato de *crossdocking* e de *picking*. Essa operação é chamada de “agendamento” e serve também como dados de programação para a alocação de recursos internos no armazém.

A rotina dentro do CD se dá pela soma da demanda da área de recebimento e da separação das solicitações automáticas de venda do dia anterior dos produtos constantes na área de estocagem. O resultado de todo volume processado pelo CD no dia chega à área de expedição, para roteirização e embarque nos veículos de entrega às lojas.

4.2 FORMULAÇÃO E CONSTRUÇÃO DO MODELO

A construção de um modelo de simulação é provavelmente tanto arte quanto ciência. Embora nem todos os modelos sejam bem-sucedidos e adequados para todos os casos, existem diretrizes gerais que podem ser seguidas. Assim, a arte da modelagem é aprimorada pela capacidade de abstrair os recursos essenciais de um problema, selecionar e modificar suposições básicas que caracterizam o sistema, para em seguida enriquecer e elaborar o modelo até uma aproximação útil da realidade (BANKS; CARSON II; NELSON; NICOL, 2014).

Nesta fase, segundo Cauchick-Miguel e outros (2012), é realizada a coleta de dados aprofundada e com isso definem-se as variáveis, os componentes, as relações entre eles, os parâmetros e as restrições da simulação (CAUCHICK-MIGUEL et al., 2012). Portanto, o sistema apresentado traz consigo um formato operacional que se inicia com a entrada de caixas máster de calçados, que são compostas por um padrão de 12 pares para as seções de feminino, masculino e esportivo. Já na seção infantil, as composições internas podem variar entre 12, 18 e 24 pares por volume.

Outra forma inicial de entrada no sistema são as caixas de produtos diversos, aqui chamadas de acessórios. Produtos como bolsas, carteiras, meias, cintos, bolas, mochilas, entre outros, têm composições internas com alto sortimento de itens e representaram 6% de todo o volume de entrada no CD em 2019. Por regra sistêmica e fiscal, todos estes itens seguem para o *picking* e vão gerar em média 22% de toda a separação.

Entretanto, a rede varejista trabalha com diversos tipos de fornecedores, o que faz com que o CD se adeque aos mais variados tamanhos de caixa, muito embora os formatos são sempre retangulares. Por isso, se fez necessária a criação de uma média ponderada para *input* no sistema em 70cm de comprimento, 50cm de largura e 30cm de altura por embalagem.

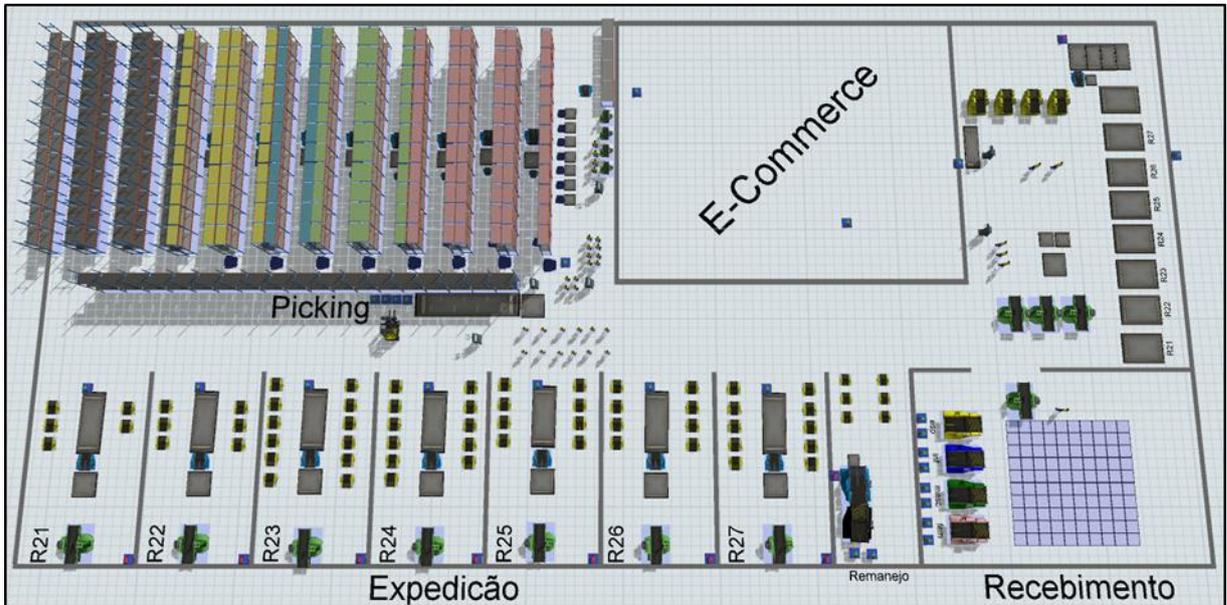
Todos os tipos de produtos e formatos foram considerados neste estudo, porém a quantidade de *inputs* no sistema é gigantesca e o giro dos produtos também, pois se trata de varejo de moda que se renova muito rapidamente num curto espaço de tempo. Isso fez com que algumas restrições, aplicações de médias ponderadas e aleatoriedades consideradas no tempo se fizessem necessárias para que seja possível rodar o modelo e gerar resultados.

Também existem outras áreas no CD que fazem o *handling* de produtos tal qual a operação estudada, pois utilizam o mesmo sistema WMS em interface com o ERP da companhia e não foram consideradas como áreas macro no modelo. A logística reversa, o *e-commerce* e o almoxarifado operam como “mini CD’s” com fluxos definidos de recebimento, armazenagem, que como regra não operam em *crossdocking*, apenas com estocagem e separação de produtos. Porém, a representatividade no sistema como um todo é muito baixa, devido ao seu fracionamento de pedidos.

Além destes, outras demandas surgem para maximizar a utilização dos canais de distribuição da logística da rede, como por exemplo, a operação de remanejamento de produtos e imobilizados entre lojas, que representam 7% a mais de todo o volume expedido no CD e que foi considerada como *input* no modelo para a área de expedição. Portanto, a Figura 15 apresenta a planta do CD, já modelada no formato do sistema FlexSim. Nela, é possível verificar as áreas macro definidas, que foram analisadas, após o input dos dados empíricos e das medições

efetuadas no sistema. Após isso, o sistema se encarregará de efetuar a consolidação e validação de toda a operação para gerar os resultados pretendidos e criar os cenários necessários para a composição do modelo de gestão.

Figura 15 - Fluxo operacional no layout do CD modelado no Flexsim

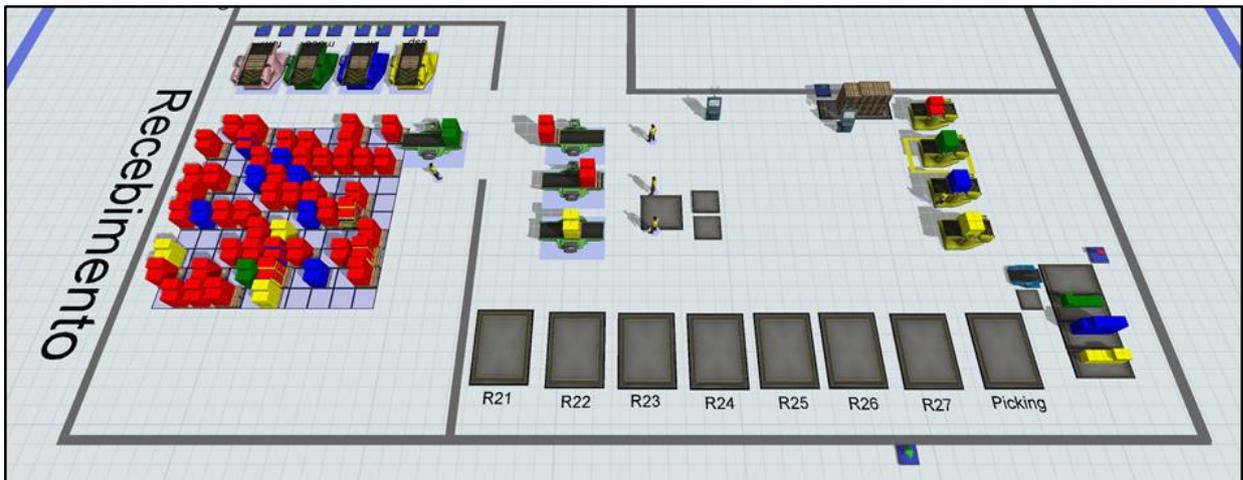


Fonte: O Autor (2020)

4.2.1 Modelagem da Área Macro de Recebimento

A primeira das três etapas estudadas neste sistema é o setor de recebimento, composto de uma equipe de 2 conferentes e 6 ajudantes. Com uma capacidade de até 1.800 volumes por dia, conforme a Figura 16, inicia-se a operação com a entrada de produtos paletizados no CD. Formando paletes com uma média de ocupação de 18 caixas, já que a descarga e o agrupamento dos volumes são feitos pelas equipes das transportadoras por tipo, numeração e cor de cada SKU. Deste total, 75% dos volumes estão prontos para seguir para as docas de expedição e 25% ainda serão conferidos internamente, sendo bipados item a item, para que depois possam seguir para a área de estocagem, onde aguardarão as solicitações automáticas de cobertura de vendas das lojas.

Figura 16 - Layout do recebimento modelado no Flexsim



Fonte: O Autor (2020)

Na área de estocagem, existe uma etapa prévia de informação ao sistema, que é a armazenagem dos produtos nos endereços de pulmão, considerada ainda como atividade do recebimento. A sua conclusão permite que as solicitações automáticas comecem a ser atendidas. Considerou-se, no estado zero do modelo uma ocupação em torno de 105.084 pares, ou seja 70% da capacidade total de estocagem, que é de aproximadamente 150.120 pares de calçados. Na modelagem no sistema, foram utilizadas cores que representassem as seções trabalhadas na operação, foram elas: vermelho para o feminino, verde para o masculino, azul para o infantil e amarelo para o esportivo.

4.2.2 Modelagem da Área Macro de *Picking*

Em seguida, já com a equipe do *picking*, os paletes são abertos e os endereços destinados à separação são abastecidos, com uma capacidade máxima de 40.620 pares de calçados, ainda conforme Tabela 10. Depois disso, cada separador consegue montar um novo volume com até 18 itens, sendo todas as embalagens reaproveitadas durante o processo, formando um novo palete de produtos diversos.

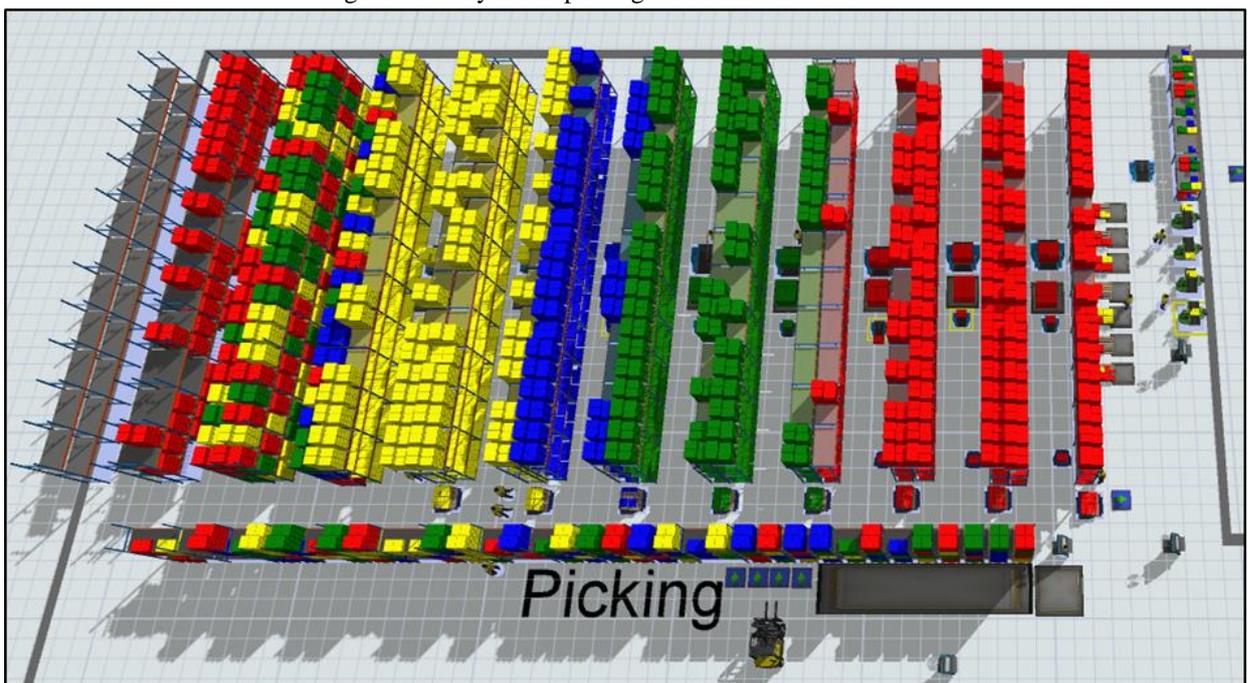
Tabela 10 - Ocupação do picking (em pares de calçados)

	Capacidade Máxima Pulmão	Utilização Estado 0 ou 70% do Pulmão	Capacidade Máxima Picking Pares	Utilização Estado 0 ou 70% do Picking Pares
Feminino	56.295	39.407	15.233	10.663
Masculino	37.530	26.271	10.155	7.109
Infantil	18.765	13.136	5.078	3.554
Esportivo	37.530	26.271	10.155	7.109
Total	150.120	105.084	40.620	28.434

Fonte: O Autor (2020)

A área do *picking* está subdividida em 12 ruas conforme a Figura 17 e as cores por seção facilitam a visualização de que: 4 delas são destinadas apenas para a armazenagem pulmão e 8 corredores formados com prateleiras apropriadas para a separação de calçados nos três primeiros níveis. Porém, o quarto e último níveis (último e mais alto) também servem apenas para endereços de pulmão. De acordo com o giro de produtos, é possível observar na Tabela 11 as disponibilidades de endereços para separação por rua e por seção.

Figura 17 - Layout do picking modelado no Flexsim



Fonte: O Autor (2020)

Tabela 11 - Ocupação do endereçamento na armazenagem do picking

	Quantidade de Ruas para Separação	Disponibilidade de Endereços para Separação
Feminino	3	37,5%
Masculino	2	25%
Infantil	1	12,5%
Esportivo	2	25%
Pulmão	4	-
Total	12	100%

Fonte: O Autor (2020)

A produção diária do *picking* está calibrada para uma média de 6 mil itens, podendo oscilar para mais ou para menos, pois o setor possui 15 pessoas divididas em equipes por atividade. Assim, podem ocorrer faltas de colaboradores, quedas sistêmicas, erros de endereçamento, erros de separação, produtos muito grandes ou muito pequenos, produtos sem embalagem, kits para montagem etc. O ponto é que a separação propriamente dita só se inicia com o abastecimento dos endereços nos níveis mais baixos, chamada na operação de “baixar”. Depois disso, com os endereços de *picking* pares preenchidos, os separadores podem iniciar o processo de separação.

A última atividade deste processo é chamada de *checkout*, na qual os funcionários são responsáveis pela conferência de tudo que é separado. Nela, ocorrem as medições de qualidade e, principalmente, garante-se a assertividade do inventário que gira em torno de 99,98% de acurácia em todo o CD. Evidentemente que outras áreas ajudam a manter este indicador em um nível excelente, porém o *picking* é um dos grandes contribuidores, uma vez que o nível de manuseio dos produtos é muito alto quando comparado aos demais.

4.2.3 Modelagem da Área Macro de Expedição

Por fim, o terceiro setor a ser analisado foi o de expedição, que é basicamente o resultado de tudo que é produzido no CD, dentro de uma capacidade diária de 2.000 volumes. Seu layout é composto por 7 rotas de embarque, as quais são subdivididas em grupos de loja de acordo com a frequência de entrega conforme a Tabela 12. Considerando que não existem veículos

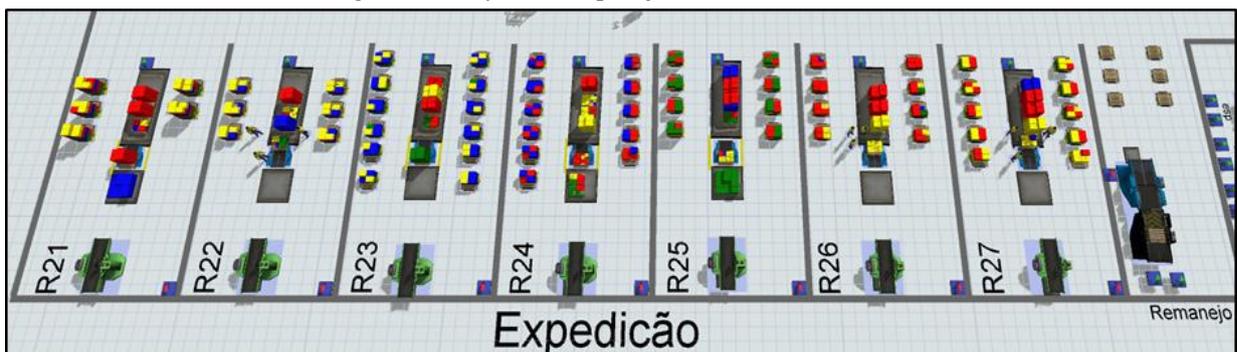
diários para todas as rotas, quando os volumes chegam em cada doca são novamente paletizados só que agora loja por loja, de acordo com a Figura 18.

Tabela 12 - Quantidades de lojas por rota de embarque

	Quantidade de Lojas	Percentual em relação à rede
Rota 21	5	8,34%
Rota 22	6	10%
Rota 23	12	20%
Rota 24	11	18,33%
Rota 25	8	13,33%
Rota 26	8	13,33%
Rota 27	10	16,67%
Total	60	100%

Fonte: O Autor (2020)

Figura 18 - Layout da expedição modelado no Flexsim



Fonte: O Autor (2020)

Chegada a hora do carregamento, um palete é colocado na frente do outro por ordem de entrega, em um processo de LIFO (*last in first out*). Ou seja, a primeira loja a ser colocada dentro do veículo é a última a ser descarregada, a segunda loja a antepenúltima e assim por diante. A equipe da expedição é composta por 11 ajudantes e 3 conferentes, revezando-se em todas as atividades da área e possui uma capacidade diária de 2 mil volumes trabalhados por dia.

4.3 TESTAGEM E IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO

A validação é um processo iterativo de comparação entre o modelo e o comportamento real do sistema, através dos *insights* de discrepância entre os dois. Como se fosse uma calibração repetida até que a precisão do modelo seja considerada aceitável (BANKS; CARSON II; NELSON; NICOL, 2014).

A verificação e a validação preocupam-se em garantir a credibilidade dos resultados alcançados pelos experimentos realizados com o programa de simulação (BIRTA; ARBEZ, 2013). Portanto, após a revisão de todos os recursos e ferramentas utilizados no Flexsim para o estudo deste trabalho, é possível descrever a modelagem feita.

O horário de funcionamento do CD é das 07:30 às 19:00 horas, sendo as Áreas Macro com horários de entrada/saída diferentes e 01:30 hora de intervalo. Para simular a operação, foi considerado no Flexsim 08:00h de operação sem intervalos, mas com os horários entre as áreas mantidos como o real. A Tabela 13 apresenta este comparativo.

Tabela 13 - Horários de Funcionamento do CD e Flexsim

Horário de Funcionamento CD e Flexsim					
Horário Centro de Distribuição			Horário no Flexsim		
Atividade	Horário	Intervalo	Atividade	Horário	Intervalo
Recebimento	07:30 às 17:30	1:30	Recebimento	08:00 às 17:00	0:00
<i>Picking</i>	07:30 às 17:30	1:30	<i>Picking</i>	08:00 às 17:00	0:00
Expedição	09:00 às 19:00	1:30	Expedição	09:30 às 18:00	0:00

Fonte: O Autor (2020)

O problema inicia na chegada dos produtos no CD, porém como o processo já existe, foram consideradas chegadas de 1.800 volumes; tal volumetria é a média de operação diária. Após isso, eles são classificados nos 4 tipos de seção, ou seja, Feminino, Masculino, Infantil e Esportivo.

Os cenários reais foram replicados 1.000 vezes no *experimenter*, porém houve *inputs* no sistema de restrição de quantidades para o feminino em 65%, para o Infantil em 15%, para o Esportivo em 12% e para o Masculino em 8%, antes do envio para o agrupamento de todo o recebimento na chegada da atividade de etiquetagem, realizada através de 1 operador. com isso, foram carregadas no Flexsim as quantidades médias de pares por seção para o fluxo interno da operação no CD.

A partir daí, as variáveis aleatórias são geradas para as atividades de etiquetagem, repaletização por rotas e *checkin*, tendo o formato de distribuição parametrizado no sistema com 25% dos volumes sendo no formato de *picking* e 75% no formato de *crossdocking*.

Com o entendimento de que tudo o que entra no estoque regulador do CD deve ser conferido, a atividade de *checkin* é realizada por 2 operadores no recebimento e, após isso, os paletes são levados à área de armazenamento. Um processo análogo é feito para cada uma das 7 rotas da expedição, consolidando os paletes e os levando até as áreas determinadas. Os mesmos recursos são utilizados, porém com 3 operadores desta vez e com dados, medições e restrições diferentes, pelo fato de não haver a abertura dos volumes na operação de *crossdocking*.

Chegados os volumes até a entrada do *picking*, eles formam um fila e são levados por duas empilhadeiras para as 12 ruas que compõem a estrutura de *racks* do modelo. Assim, inicialmente, é feita a armazenagem de pulmão para os endereços com capacidade de estocagem dos produtos em paletes PBR (padrão brasileiro de tamanho 1m x 1,2m).

Já as 8 ruas, na área de estocagem do CD, que estão preparadas para o armazenamento dos pares em prateleiras, tiveram regras parametrizadas no rack, com os tamanhos médios dos volumes, no pulmão, e das caixas pares, nos endereços mais baixos, de acordo com as capacidades de ocupação necessárias para cada seção.

A partir daí, inicia-se o processo de separação, no qual com 4 operadores realizando a primeira atividade medida, chamada de baixar e armazenar. Ela consiste em baixar um palete e abrir os volumes, os quais possuem em média 12 caixas de sapato e abastecer os endereços no *picking* pares.

Com isso, os 8 operadores responsáveis pela separação dos pedidos, segunda atividade medida, conseguem chegar até os endereços dos *racks*, abastecidos aleatoriamente com calçados. Cada volume gerado na separação corresponde a um pedido e nele pode conter entre 4 e 20 pares, ou itens aleatórios devido à combinação de acessórios.

Neste ponto, foi utilizada uma *global table* para simular a quantidade aleatória que cada volume pode conter, através de uma base real da operação nos anos 2018 e 2019. Essa base de dados contém aproximadamente 387 mil pedidos e foram gerados através da busca no banco de dados da rede varejista e organizados em relatório. Como *input* da simulação, foi utilizada a quantidade de 20.361 pedidos distribuídos entre as 4 seções disponíveis. A queda nesta quantidade ocorreu, principalmente, devido à retirada dos *outliers* que compõe pedidos exclusivamente formados por acessórios ou brindes, que podem conter, em uma única caixa do *picking*, entre 1 e 380 itens, o que gera uma enorme combinação de resultados.

O volume gerado da separação chega até a terceira atividade do *picking*, o *checkout*. Nela, 3 operadores abrem os volumes oriundos da separação, de forma aleatória, fazem a conferência e a reembalagem dos volumes. Depois, depositam o resultado em 7 paletes diferentes, assim como no recebimento; cada um dos paletes corresponde a uma rota da expedição.

A quarta e última atividade medida no setor de *picking* é realizada ainda pelos 3 funcionários do *checkout*. Eles são os responsáveis por levar os paletes formados pela conferência, com até 15 volumes cada, até a área de expedição. Lá se juntarão em filas, com os paletes vindos do *crossdocking* ou remanejo.

Já na expedição, 11 operadores iniciarão o processo de repaletização por loja, dentro das 7 docas de acordo com a frequência de carregamento dos veículos. Algumas regras como capacidade de loja, foram consideradas no sistema para o carregamento dos veículos. Além disso, a mesma equipe da expedição também é responsável por movimentar os produtos vindos da operação de remanejo dentro do CD, após a chegada dos veículos da entrega.

Para serem gerados os *outputs* de dados do modelo, foram utilizadas três ferramentas:

- O *Statistic Collector* foi utilizado para gerar informações como tempo médio de todas as atividades medidas, sugestão de alocação por conta de gargalos, distâncias percorridas, tempos de paletização e repaletização, e tempo total de execução para cada cenário;
- O *Experimenter* também foi utilizado para gerar as replicações, porém ele agrupa os dados de todas as replicações do modelo;
- O *Script no User Commands* foi utilizado para coletar e salvar as estatísticas geradas pelo *Experimenter*, em planilhas do Excel;
- *Dashboards*, apresentações dos resultados do modelo em gráficos em tempo real, como por exemplo: status da área ou operação, distância percorrida, tempos de atividade e operação, *input* e *output* etc. Para análise de propostas, identificação de gargalos e desempenho operacional.

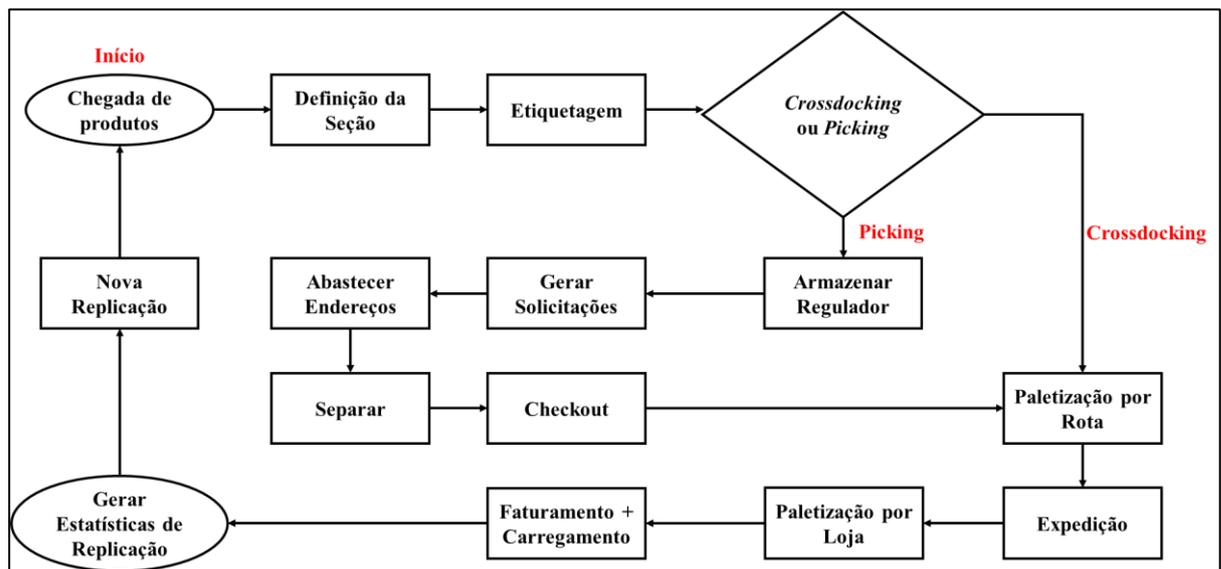
A Figura 19 representa o fluxo de processos utilizados na modelagem que foi descrita, a qual sua validação foi possível, através dos relatórios que foram gerados no *Experimenter* com os resultados de cada replicação da simulação. Para realizar a validação, o modelo foi replicado 1.000 vezes. O parâmetro considerado para a validação do modelo foi o tempo médio de recebimento, o tempo médio de *picking* e o tempo médio para expedição dos produtos.

Já para certificação de que os resultados do modelo estão de acordo com a realidade do CD, foi utilizado um *script* do Flexsim, *user comand*s, para salvar os resultados de cada replicação, as quais tiveram:

- Recebimento = média de tempos das 3 atividades juntas foi de 1.128,73 segundos e um desvio-padrão de 61,06 segundos;
- *Picking* = média de tempos das 4 atividades juntas foi de 4.678,77 segundos e um desvio-padrão de 174,05 segundos;
- Expedição = média de tempos das 2 atividades juntas foi de 2.321,71 segundos e um desvio-padrão de 100,85.

A alta variabilidade destes parâmetros se deu devido às diferenças do tempo dentro da operação, que são enormes de uma atividade para outra. Também como já observado no Capítulo 3, houve uma compensação no aumento do desvio padrão por conta do imenso número de amostras que seriam necessárias para a coleta de dados. Dada a complexidade da operação, o número da quantidade de amostras foi fixado para adequá-lo a menor taxa de erro possível.

Figura 19 - Etapas do fluxo da modelagem



Fonte: O Autor (2020)

As Figuras 20, 21, 22 e 23 mostram os gráficos de dispersão dos tempos médios, parâmetro considerado, após as 1.000 replicações simuladas no *Experimenter* de atividades realizadas nas áreas de recebimento, *picking* e expedição, respectivamente. Cada ponto na cor verde representa o valor médio dos tempos simulados e a barra vermelha é a média das amostras reais. Acrescentando um desvio padrão dos dados reais para mais, barra azul, ou para menos,

barra amarela, encontram-se todos os tempos simulados, estando a maioria dos resultados dentro da normalidade e em acordo com os dados reais de tempo coletados nas medições realizadas na operação.

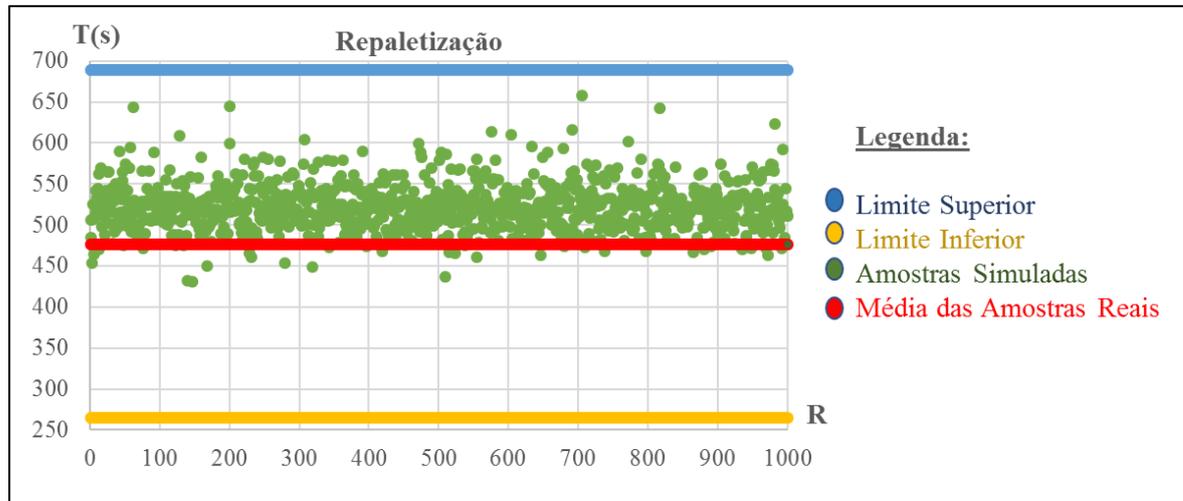
Ainda sobre as Figuras 20, 21, 22 e 23, as validações foram feitas para pelo menos uma atividade de cada macro área devido à complexidade da operação e o tamanho de sua variabilidade. Em que, aplicando o Teorema Limite Central, define-se um intervalo no qual estão as médias amostrais dos tempos reais. Já que o tamanho da amostra simulada é suficientemente grande, pode-se utilizar a média das amostras reais independentemente da forma da população (MONTGOMERY; RUNGER, 2014).

A comparação qualitativa dos dados simulados pelo *Experimenter*, com os dados reais de tempo, foi feita de forma pelo Gerente do CD, especialista da área. Uma vez que esta pesquisa tem carácter explicativo direto, baseada em documentação direta e com observação participante (CAUCHICK-MIGUEL et al., 2012).

Especificamente para gerar o gráfico da Figura 20, nas mil replicações do *Experimenter*, a atividade de repaletização do recebimento teve uma média das dispersões de tempo de 521,47 segundos, em que foi aplicado, sobre as médias de tempos coletados na realidade de 476,40 segundos, um desvio padrão de 212,17 segundos, para mais ou para menos, gerando os valores de limite superior em 688,57 segundos e limite inferior de 264,2.

Ainda sobre a Figura 20, é possível observar que os valores simulados nas replicações do *Experimenter*, em cada ponto verde, estão dentro dos limites estabelecidos. Porém, dada a diversidade de tamanhos e pesos de caixas manuseadas, devido às cubagens não terem sido cadastradas no *Flexsim*, o sistema não considerou a fadiga dos auxiliares durante o processamento da atividade.

Figura 20 - Gráfico de Dispersão dos Tempos Atividade no Recebimento

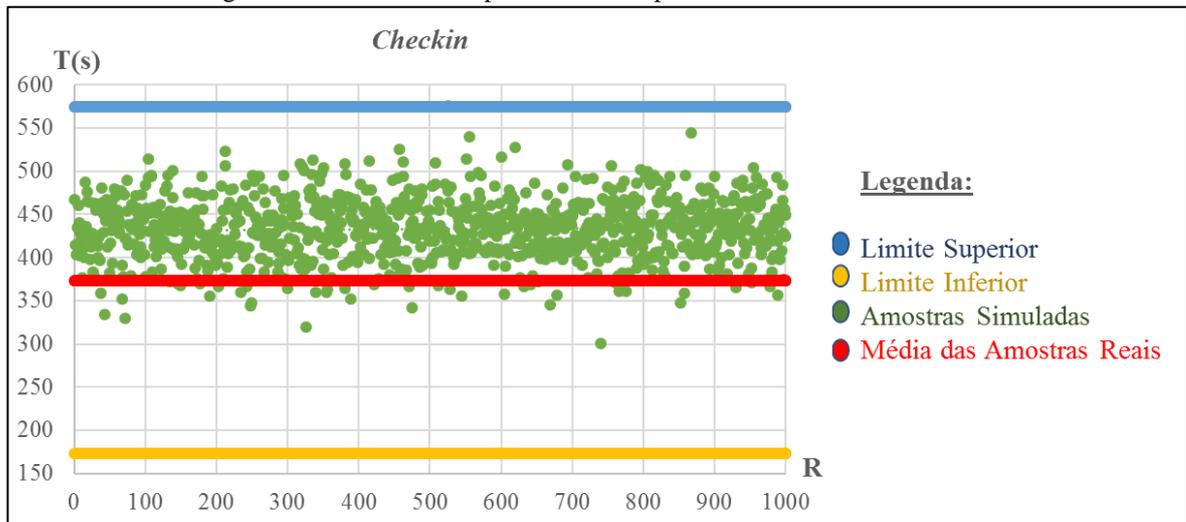


Fonte: O Autor (2020)

Já na Figura 21, encontra-se o gráfico de dispersão dos tempos médios que representa a atividade de *checkin* do recebimento, a qual teve uma média de tempo real em 374,40 segundos. Aplicando um desvio padrão de 200,73 segundos, para mais ou para menos, gerou um limite superior de 574,13 segundos e um limite inferior de 172,67 segundos.

Ainda na Figura 21, de acordo com os valores dos tempos simulados nas 1.000 replicações do *Experimenter*, é possível verificar que a média das amostras reais, representadas pela linha vermelha fica abaixo da maioria dos pontos verdes. Isso se deve por conta do tempo gasto nas soluções dos problemas encontrados no processo de conferência dos produtos no recebimento, que não foram medidos e, conseqüentemente, não imputados no Flexsim.

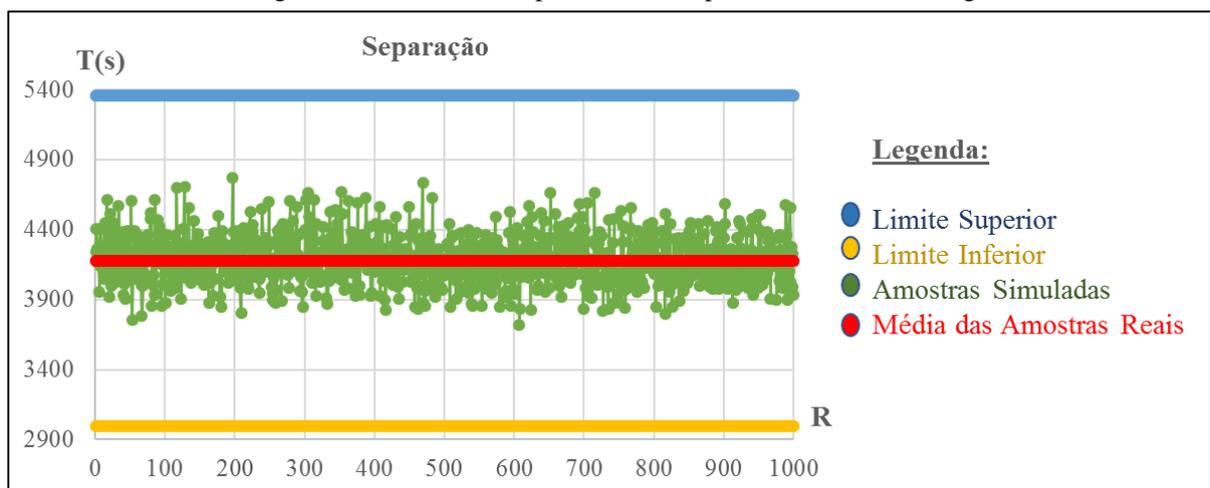
Figura 21 - Gráfico de Dispersão dos Tempos Atividade no Recebimento



Fonte: O Autor (2020)

A Figura 22 apresenta o resultado das replicações simuladas pelo *Experimenter* para a principal atividade do *picking*, a separação. Nela, é possível observar uma média real das amostras de tempo em 4.174,95 segundos, um limite superior de 5.357,18 segundos e um limite inferior de 2.992,72 segundos, quando aplicado o desvio padrão de 1.182,23 segundos, para mais ou para menos, o que se aproxima muito dos valores de tempo, em verde, simulados no *Experimenter* e que obtiveram uma média de 4.185,89 segundos.

Figura 22 - Gráfico de Dispersão dos Tempos Atividade no Picking



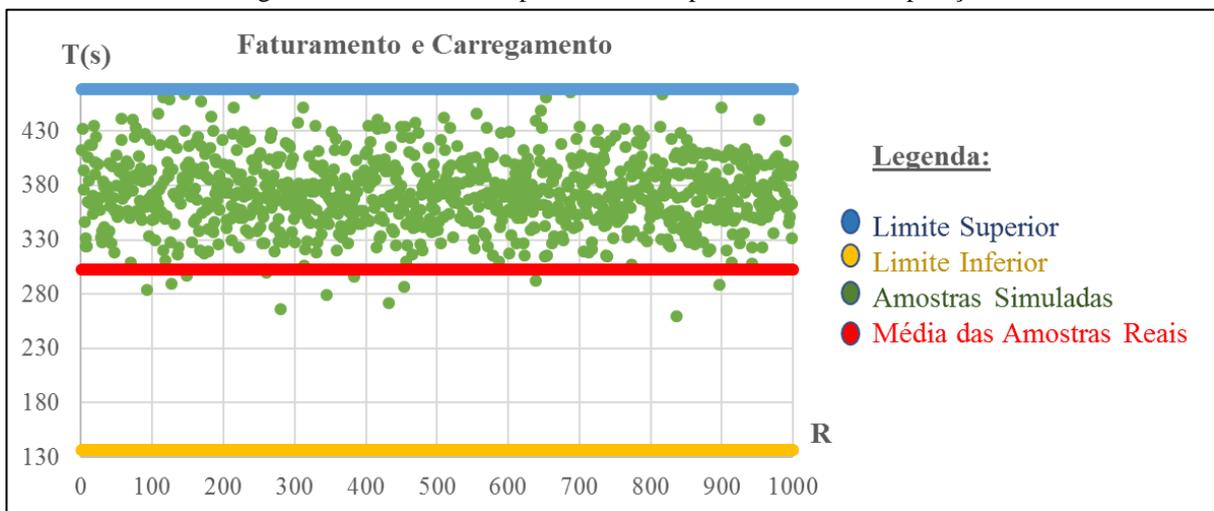
Fonte: O Autor (2020)

Por fim, no setor da expedição, a Figura 23 apresenta os resultados das replicações do *Experimenter* para atividade simulada de faturamento e carregamento. Na realidade, os resultados cronometrados obtiveram a média de 303 segundos. Após aplicado o desvio padrão,

para mais e para menos, de 165,96 segundos, gerou-se um limite superior de 468,96 segundos e um limite inferior de 137,04 segundos.

Ainda sobre a Figura 23, é possível observar, assim como a atividade de repaletização, que a grande variedade de tamanho e peso das caixas fazem o sistema ser mais produtivo do que a operação real por não considerar a fadiga humana. O manuseio dos pacotes se torna ininterrupto e, com isso, eleva o resultado das 1.000 replicações do sistema para cima da média real das amostras de tempo.

Figura 23 - Gráfico de Dispersão dos Tempos Atividade na Expedição



Com a realização dos estudos de tempos e das replicações simuladas no sistema, apesar de alguns *outliers*, é possível observar que a maioria dos resultados estão dentro da variabilidade real do sistema. Isto torna possível rodar o modelo de simulação, coletar seus dados para identificar os problemas do sistema e trabalhar nas possíveis soluções (PADILHA et al., 2020).

4.3.1 Validação de Cenários Reais

A validação do modelo de simulação do CD foi efetuada em 3 cenários reais, de acordo com a variação da demanda no calendário anual de vendas da rede varejista. Após isto, o modelo passa a ser base de um modelo de gestão para 2 cenários futuros, em que a empresa avalia condicionar os seus sistemas de distribuição logística para mitigar ações de redução de custo, otimização de recursos, giro de estoque e redução de perdas, através de estratégias de distribuição mais assertivas e eficientes.

Após a modelagem e validação, o sistema está pronto para simular várias situações. Na primeira delas, uma árvore de decisão foi criada com os dados reais de volumetria coletados na operação. Além disso, ela foi subdividida em três faixas de demanda, correspondentes a três cenários diferentes, para cada uma das áreas estudadas nesta pesquisa.

O entendimento completo da capacidade produtiva de uma operação é fundamental para o gestor estabelecer os recursos necessários para o seu funcionamento. Em se tratando de mão-de-obra, a oscilação da operação para menos permite que se haja programações de férias e compensação de horas extras trabalhadas. Por outro lado, quando se aumenta a demanda também aumentam as horas extras trabalhadas (CORRÊA; CORRÊA, 2012), bem como podem ser feitas contratações de novos colaboradores por certos períodos durante o ano.

Nas análises dos cenários, não foram considerados os problemas menos comuns, que surgem durante um dia de operação no CD, como por exemplo: absenteísmo, quedas de sistema, correções internas nos volumes, reimpressões de etiquetas e notas fiscais, reembalagem de volumes, erros operacionais de alocação de paletes de volumes, entre tantas outras.

A árvore de decisão abaixo, conforme a Figura 24, apresenta a abertura dos três setores que foram modelados no sistema e quando juntos demandam os recursos de mão-de-obra necessários para o atendimento completo das demandas impostas à logística da rede de calçados. A faixa central corresponde ao quadro de pessoal durante 50% do ano, informando que o CD dispõe desta quantidade de colaboradores em condições normais e pode completar as atividades durante um dia de trabalho normalmente, apenas com a variação da volumetria acima e abaixo desta faixa, ou seja oscilando no recebimento entre 1.500 e 2.400 volumes. No *picking* entre 5.000 e 7.000 itens, e na expedição com um mínimo de 1.750 volumes e um máximo de 2.250.

Seguindo o mesmo raciocínio quando a demanda retrai, nos dois primeiros meses do ano, mais o mês de julho, observa-se na Figura 24 que é possível dar férias ou folgas em 25% do ano. Por outro lado, quando a demanda está alta, como no mês de junho, é possível observar que são necessárias horas extras (HE's) para a entrega dos resultados e nos meses de novembro e dezembro, faz-se necessária a contratação de mão-de-obra extra, correspondendo aos outros 25% do ano calendário comercial. Neste momento é quando a operação atinge o seu máximo de processamento no CD, chegando a picos de 3.600 volumes de recebimento, 9.000 itens separados no *picking* e são expedidos até 2.750 volumes por dia.

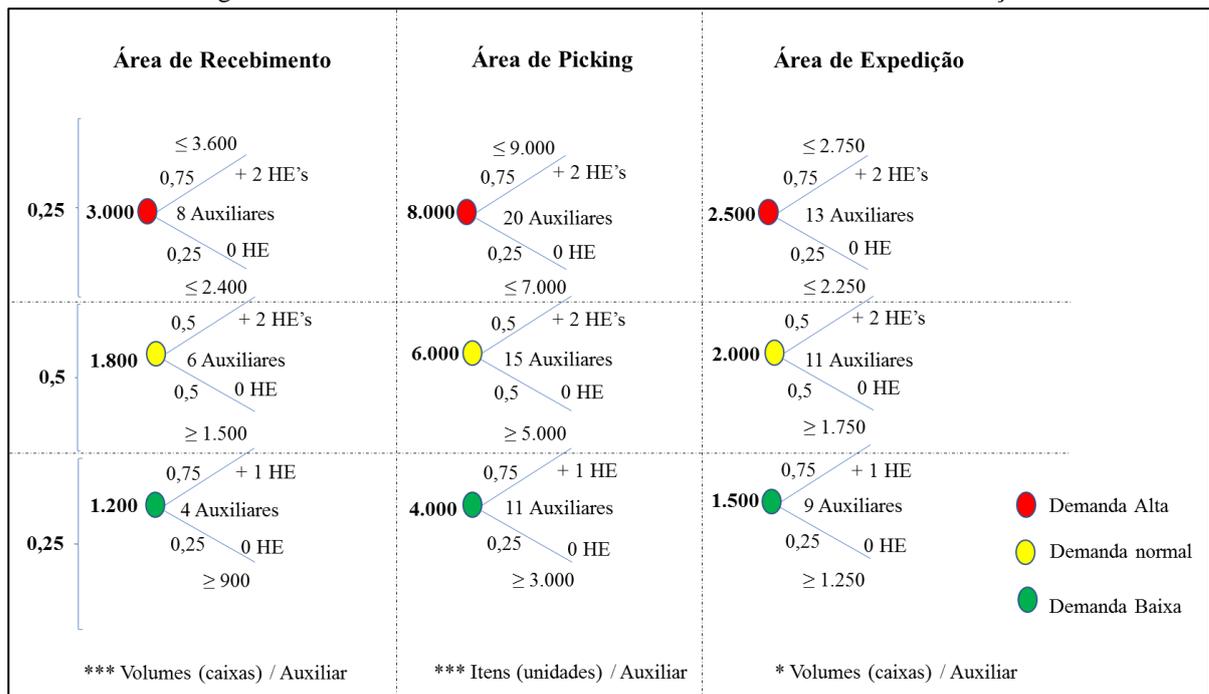
Contudo, na Figura 24, é possível observar que a relação de aumento de pessoas ou diminuição delas, não é diretamente proporcional para todos os setores. Por exemplo, o recebimento só precisa contratar mais duas pessoas para praticamente dobrar de capacidade,

mais a realização de horas extras. Já no setor de *picking*, pouco se consegue com a contratação de duas pessoas, ou seja, para aumentar a sua capacidade em 50% é necessária a contratação de mais 6 pessoas. O resultado do volume processado no CD culmina na expedição, que é pouco sensível ao aumento do volume, devido à retenção de carga no CD e à frequência alternada de carregamento, o que gera uma demanda mais controlada, porém em contrapartida necessita também da contratação de novos colaboradores.

Por fim, ainda na Figura 24 e de acordo com a modelagem trazida neste estudo, é possível sintetizar que o manuseio de produtos no *picking* requer muito mais mão-de-obra do que os outros dois setores. Isso é evidente pela abertura de volumes, onde por exemplo na conferência dos volumes do recebimento na atividade de *checkin*, demandam-se duas pessoas de um total de 6 no setor. O mesmo raciocínio segue para os momentos de demanda mais baixa na operação, com a liberação das pessoas para compensação das horas trabalhadas.

A contratação de funcionários temporários é feita de forma sazonal para que se evitem custos desnecessários. Porém, as pessoas cognitivamente precisam de algum tempo para se especializar nas tarefas e essa média pode variar de acordo com a complexidade da operação (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009). Neste caso, a curva de aprendizagem pode aumentar ou diminuir de acordo com a qualidade do treinamento; esta mensuração permite a preparação das equipes, juntamente com outros recursos para a alta demanda.

Figura 24 - Árvore de decisão com os três cenários reais obtidos na simulação



Fonte: O Autor (2020)

As validações foram feitas uma vez que os dados coletados tiveram as suas distribuições de tempo aprovadas em 3 tipos de testes de aderência, no Flexsim. Bem como, as médias de tempo simuladas foram validadas através do Teorema Limite Central, com a comparação em gráficos de dispersão e confrontados com a média dos tempos reais, em mais ou menos um desvio padrão. Além disso, a houve a avaliação qualitativa feita pelo especialista da área.

A modelagem no sistema Flexsim gerou para os 3 cenários da árvore de decisão acima, resultados condizentes com a operação real, ou seja, a contratação de pessoas nos momentos de “pico” e a compensação de horas extras e férias nos momentos de “vale”. A Figura 25 traz a validação da área de recebimento, a Figura 26 da área de *picking* e a Figura 27 apresenta a validação da área de expedição.

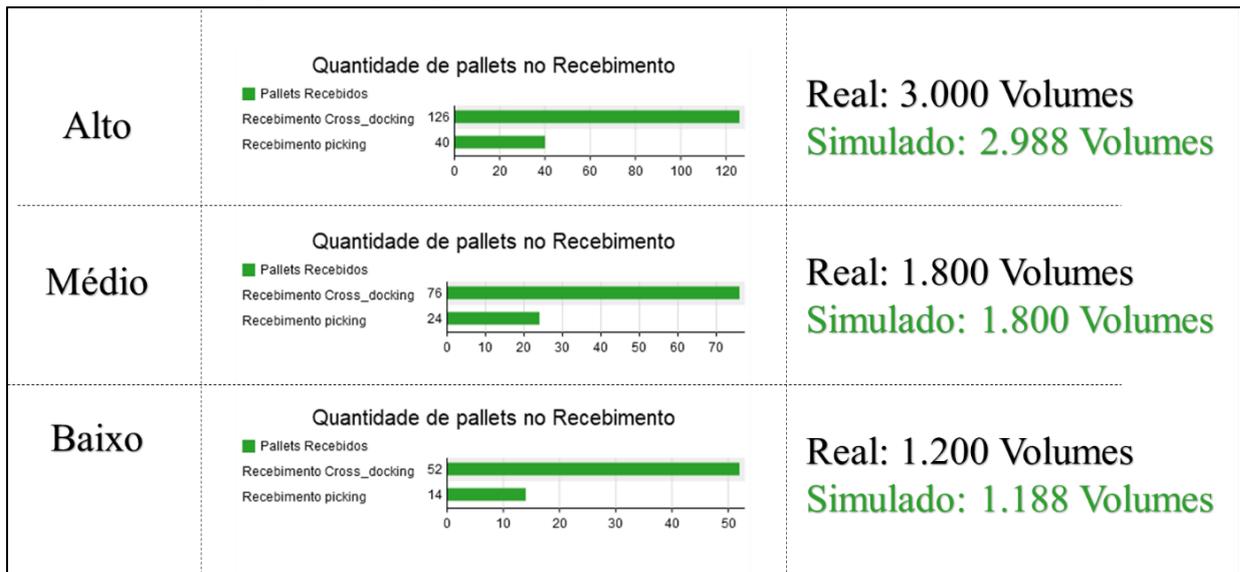
Neste caso, foram considerados como recursos sempre disponíveis paletes, paleteiras, empilhadeiras, insumos de embalagem, entre outros, por estarem disponíveis no setor de almoxarifado da rede e nos contratos com os fornecedores de equipamentos de movimentação para a logística.

Nas Figuras 25, 26 e 27, é possível comparar os dados de produção simulados no Flexsim, por setor, com os dados de produtividade reais da operação. Nelas, existem pequenas variações entre os resultados, uma vez que a complexidade da operação logística e os dados que foram imputados no sistema, sem que houvesse custos ou impactos na operação, diferenciam-se de uma operação de manufatura, por exemplo, que tem dados de manuseio mais regulares do que um CD varejista com atuação em calçados e acessórios multimarcas.

A Figura 25 apresenta os gráficos para os 3 cenários de recebimento, considerando na entrada uma média ponderada de 18 caixas por palete, sendo gerados no cenário médio 100 paletes de *input*, no cenário alto 166 paletes e no cenário baixo 66 paletes de *input* por dia na operação.

É possível verificar, também na Figura 25, que o processamento do recebimento fica em acordo com as médias de resultados esperados na realidade. Aqui, foi considerado o número de 6 pessoas na operação para o cenário médio, o que geraram 100 paletes com 18 caixas cada e um total de 1.800 volumes de entrada no CD. Aumentamos em 2 pessoas para o cenário de alta demanda e o resultado médio da simulação foi de 2.988 volumes. A replicação de acordo com a realidade da operação também ocorreu no cenário de baixa demanda, onde foram recebidos 1.188 volumes com 4 pessoas, ou seja 2 a menos do quadro de pessoal médio.

Figura 25 - Validação da Volumetria de Recebimento nos Cenários Reais

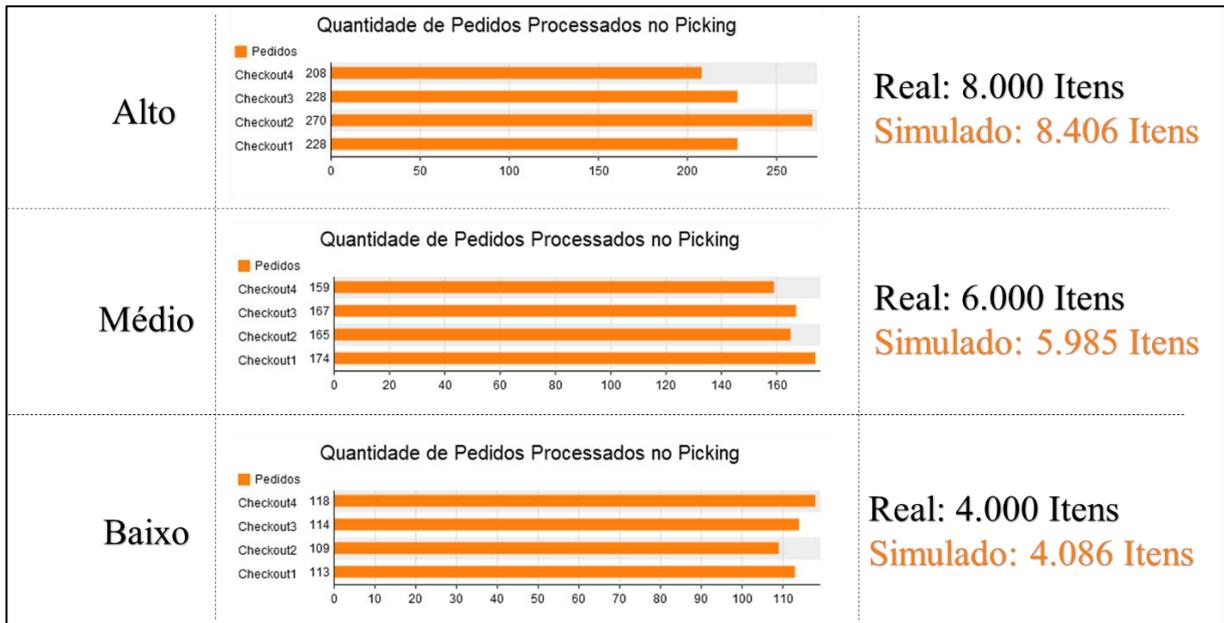


Fonte: O Autor (2020)

A Figura 26 mostra a quantidade de itens produzida no setor de *picking*, por dia útil, onde foram considerados, como resultado, o envio dos volumes do *checkout* para a expedição, sendo cada volume contendo uma quantidade média de 9 itens por caixa. Assim, o cenário médio obteve uma quantidade de 5.985 itens ou 665 volumes com 15 pessoas ao todo na operação, o que representa quase exatamente a realidade da operação que é uma produção média de 6.000 itens por dia.

Como resultado da simulação para a alta demanda, é possível verificar na Figura 26 que com mais 5 pessoas é possível atingir a produção de 8.406 itens no *picking* e no cenário de baixa, com 4 pessoas a menos, são produzidos 4.086 itens ou 454 volumes enviados para a expedição diariamente.

Figura 26 - Validação da Volumetria de Picking nos Cenários Reais

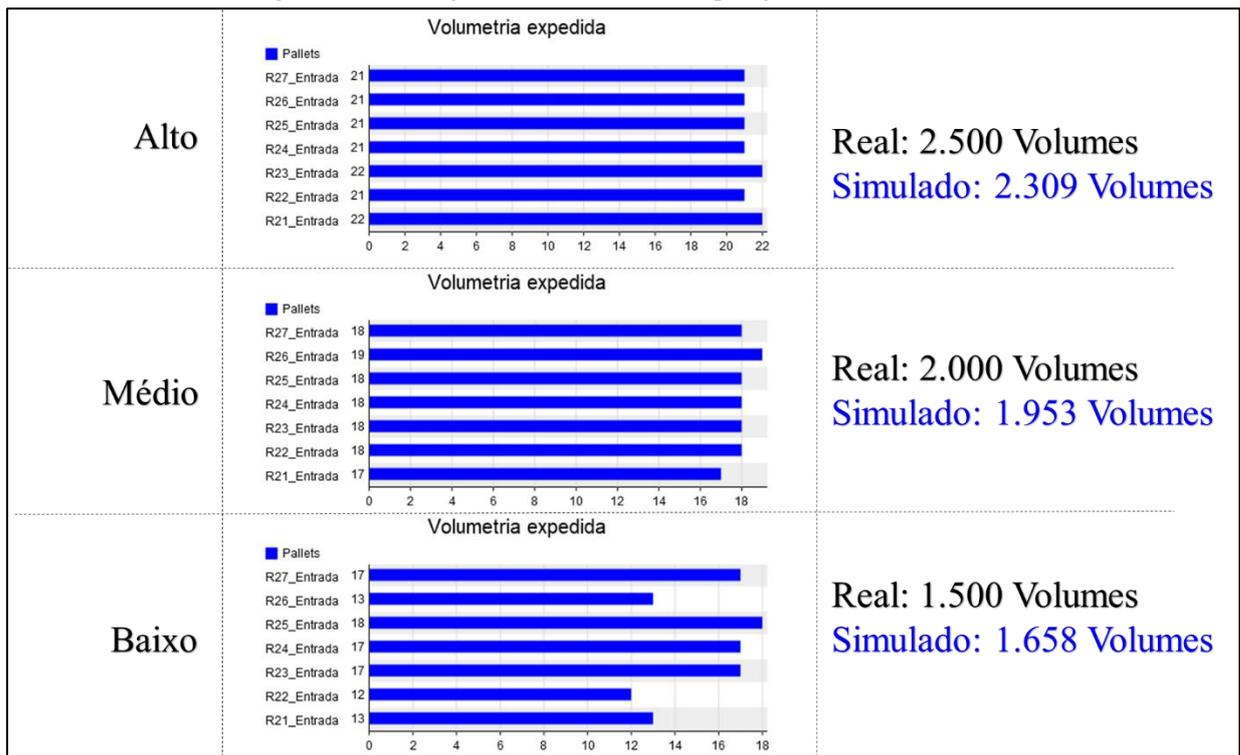


Fonte: O Autor (2020)

Por último, a Figura 27 mostra os números trabalhados pela expedição por dia de trabalho. Como resultado de toda a operação produzida pelo CD, observou-se uma quantidade média de 15,5 caixas palete, número este inputado no sistema, independentemente do tamanho ou do peso da caixa.

Portanto, observa-se na Figura 27 que no cenário de média volumetria, a área expediu 126 paletes ou 1.953 volumes com o seu quadro efetivo de 11 auxiliares. Quando a demanda aumenta, são exigidas mais 2 pessoas para a capacidade do setor atingir 2.309 volumes trabalhados por dia. Entretanto, nos meses de baixa demanda são compensadas férias e horas extras, podendo reduzir o efetivo em até 2 pessoas e mesmo assim conseguir o atendimento de 107 paletes ou 1.658 volumes expedidos.

Figura 27 - Validação da Volumetria de Expedição nos Cenários Reais



Fonte: O Autor (2020)

Todos os 3 cenários apresentados, ocorrem de fato na operação do CD estudado, o que ratifica a validação do modelo no atendimento da demanda da rede calçadista. Garantindo o abastecimento das lojas de forma assertiva e eficiente, dentro dos níveis de serviço acordados ou SLA (em inglês *Service Level Agreement*) com os clientes internos. É possível verificar na Tabela 14, por exemplo, que o tempo de processamento para o recebimento e para o *picking* é de até 72 horas. Porém o tempo de permanência dos produtos até o carregamento dos veículos deve ser de no máximo 48 horas.

Ainda na Tabela 14, é possível observar que as somas dos SLA's do *crossdocking* e do *picking* geram um *lead time* de até 120 horas ou 5 dias, tempo de entrada de um pedido até o seu faturamento. Esta informação é um importante parâmetro para as áreas pares como as de compras, vendas e marketing, acompanharem o tempo de reposição dos produtos, ou definirem as datas de lançamento de campanhas no mercado varejista.

Tabela 14 – Indicadores Empíricos de Eficiência no Centro de Distribuição

Indicador	Área
Atendimento de 99% das solicitações do <i>picking</i> em até 72 horas.	<i>Picking</i>
Atendimento de 99% das solicitações do <i>crossdocking</i> em até 72 horas.	Recebimento
Tempo Médio da Operação de <i>Checkin</i> abaixo de 2 minutos	Recebimento
Faturamento de 99% da volumetria em doca em até 48 horas.	Expedição

Fonte: O Autor (2020)

4.4 CENÁRIOS FUTUROS

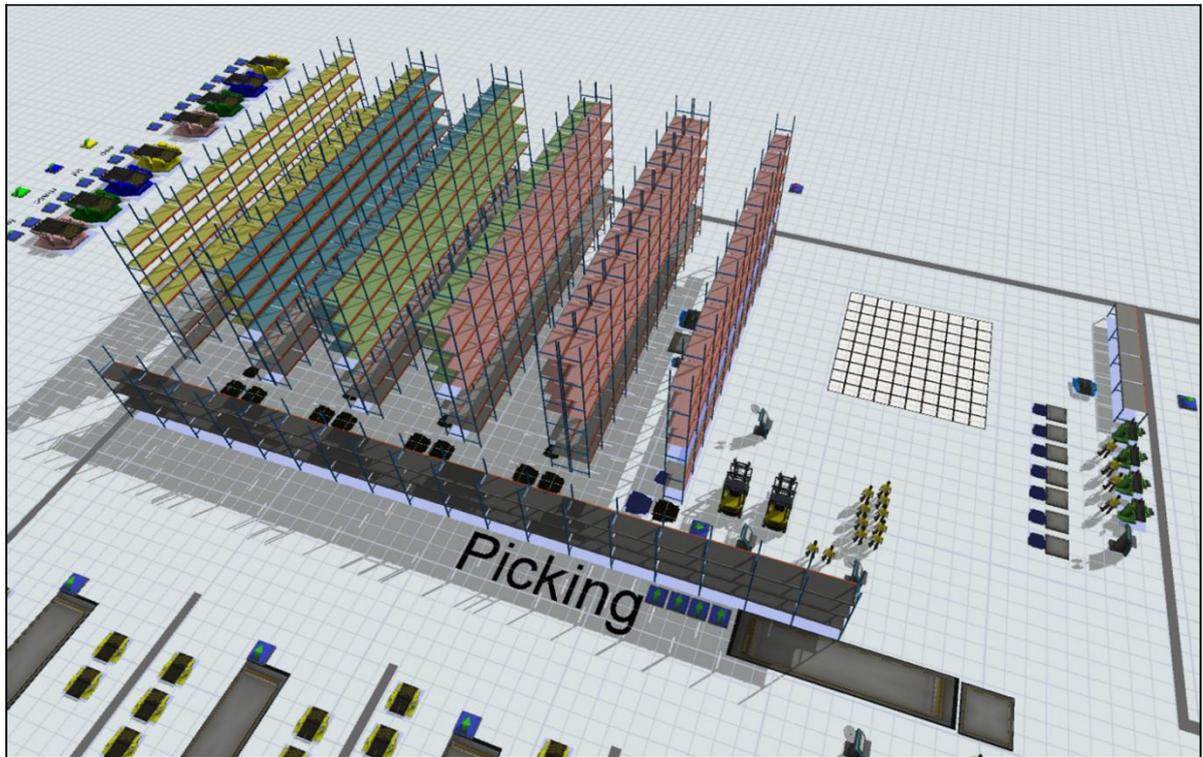
Dois cenários futuros são apresentados neste estudo. Primeiramente, será avaliada a necessidade de aumento da capacidade do *picking*, gerando a criação de mais endereços de armazenagem dos paletes do pulmão, uma vez que a disponibilidade de endereços nos níveis abaixo é exclusivamente para a ocupação e separação. Além disso, será analisada a redução do volume de *crossdocking* na entrada, fazendo com que se tenha um aumento da retenção dos produtos no CD, para posterior abastecimento das lojas quando ocorrer a venda. Assim sendo, a representatividade do *picking* que hoje seria de 25% aumentaria para 50%, exigindo assim um *handling* maior na operação por conta do fracionamento dos produtos.

4.4.1 Verticalização do *Picking*

Atualmente, a capacidade total de estocagem do *picking* é de pouco mais 150 mil peças no pulmão e com a verticalização da estrutura porta-paletes, espera-se uma nova capacidade em torno de 250 mil peças. Além disso, com a mesma mão-de-obra, neste cenário espera-se uma melhora substancial da produtividade em no mínimo 27,5%.

Como oportunidade, é possível verificar na Figura 28, que haverá uma melhora significativa da utilização do pé direito total do armazém, o qual no atual formato das estruturas de porta-paleta gera ociosidade no espaço cúbico disponível, além dos custos de manutenção.

Figura 28 - Layout no Flexsim da Verticalização na área de Picking

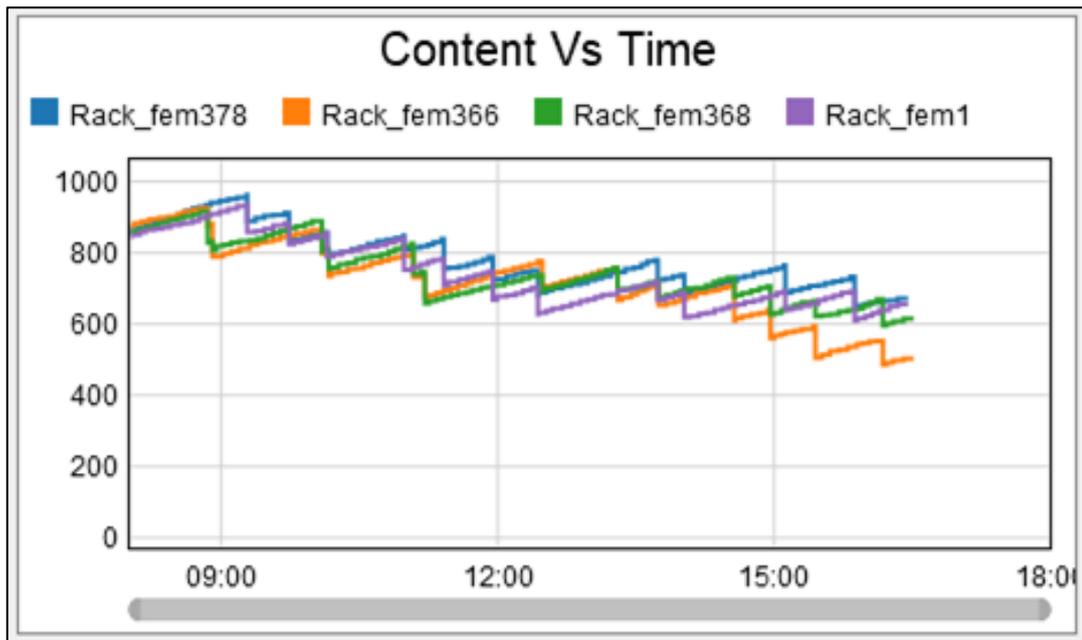


Fonte: O Autor (2020)

Ao longo do dia, durante a operação do *picking*, é possível observar na Figura 29 que a utilização da estrutura porta-paletes nos níveis baixos, em unidades e de acordo com o horário de trabalho, se inicia alta com o abastecimento dos endereços de separação de produtos e depois vão diminuindo no decorrer do dia, à medida em que os endereços vão se esvaziando por conta da separação dos pedidos pela equipe. Com a execução deste projeto, espera-se que o espaço útil aéreo seja mais bem utilizado pelos endereços pulmão e retenha-se mais produtos no CD.

Este processo irá facilitar o abastecimento dos endereços de separação com a operação de descida dos paletes sendo executada na mesma rua, que de acordo com a Figura 29, exige-se menos deslocamento da equipe de separação e além disto, irá gerar mais sobras de calçados nestes endereços. O que é positivo, pois com os endereços de separação já abastecidos, são necessários menos paletes serem baixados, onerando menos a atividade de *picking*.

Figura 29 - Gráfico de Utilização dos Endereços de Picking da seção Feminino



Fonte: O Autor (2020)

O gráfico da Figura 30 representa a utilização da mão-de-obra no FlexSim para o setor de *picking*, de acordo com a quantidade de 15 pessoas necessárias para o atendimento da demanda considerada em um período normal. Nele é possível observar a barra azul clara, que representa o tempo ocioso, apenas para a equipe de *checkout*, por conta das primeiras horas da manhã, em que aguardam a chegada dos volumes provenientes da separação.

Ainda na Figura 30, observa-se que o tempo de utilização da mão-de-obra é representado pelos percentuais de cada operador, pelo tempo total de operação durante um dia de trabalho. Os tempos gastos divididos com deslocamentos e com trabalho parado são ilustrados por cores.

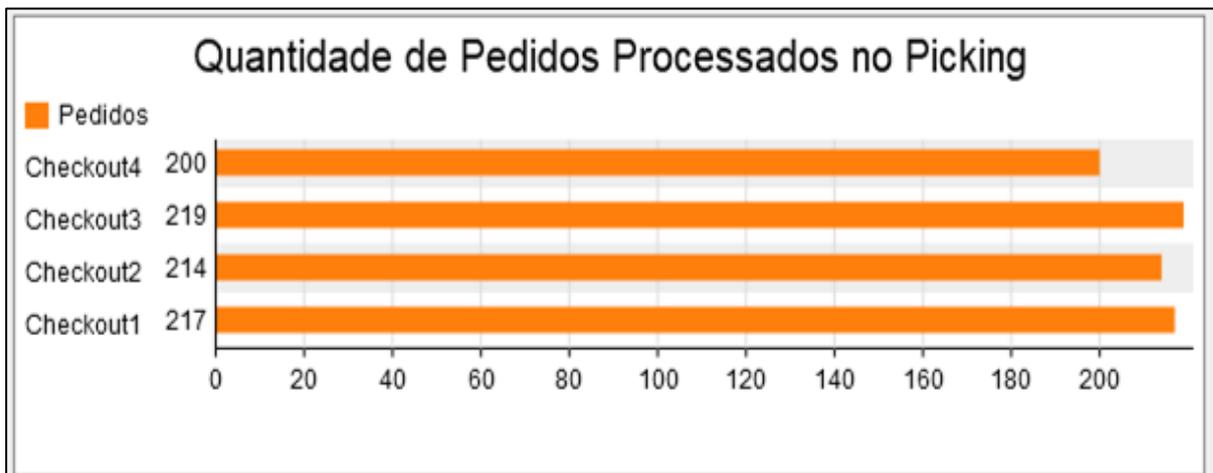
Figura 30 - Mão-de-obra do Picking em um dia de trabalho



Fonte: O Autor (2020)

Operar em estruturas altas exige equipamentos de movimentação adequados. Por isso, as duas empilhadeiras deverão ser trocadas que, atualmente, se elevam a 5 metros, para outras duas que têm alcance de até 12 metros de altura. Desta forma, haverá um aumento do *headcount* (termo em inglês que significa quadro de pessoal) em mais 2 empilhadores, como também um aumento de 27,5% na produtividade diária, quando este cenário foi simulado pelo Flexsim. Tendo agora como resultado no *picking* uma produção de 850 volumes, conforme a Figura 31, ou 7.650 pares separados ao longo de um dia de trabalho.

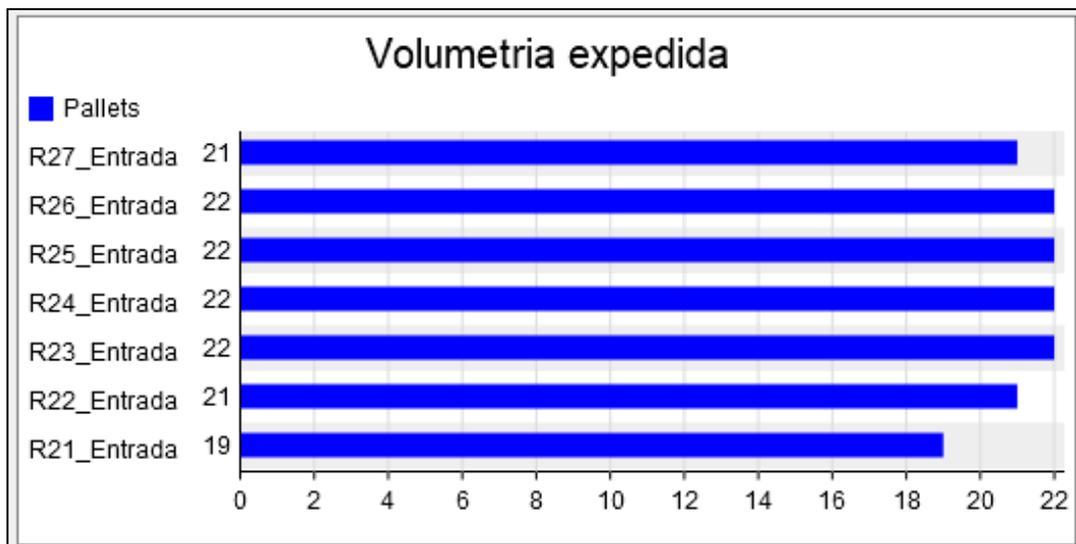
Figura 31 - Produção do Picking após a Verticalização



Fonte: O Autor (2020)

Além disso, por conta do fracionamento de volumes causado pelo *picking*, em quantidade e tamanho, o modelo determina um aumento no quadro de funcionários em mais 1 pessoa na expedição. Pois a quantidade de volumes trabalhada será acima da capacidade média de processamento do setor, que é de 2.000 volumes. Portanto, conforme a Figura 32, com a verticalização, serão roteirizados e carregados nos veículos 149 paletes ou 2.310 volumes por dia.

Figura 32 - Resultado na Expedição após a Verticalização do Picking



Fonte: O Autor (2020)

4.4.2 Aumento da Representatividade do *Picking* e Redução do *Crossdocking*

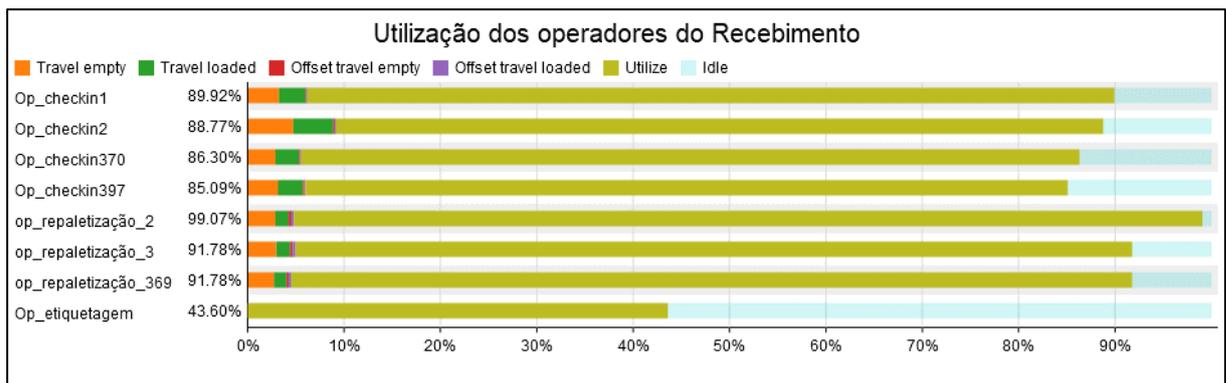
Este balanceamento oscila dentro do ano; porém, com pontos percentuais quase imperceptíveis. Atualmente, a operação está balanceada na média de 75% da volumetria que entra no CD ser pelo método *crossdocking*, enquanto 25% ser *picking*. Assim sendo, quanto mais se aumenta o *picking*, mais lenta fica a operação logística e, com isso, exige-se um esforço maior dos recursos disponíveis e até o aumento deles.

Este cenário irá apresentar os resultados modelados no Flexsim, com o aumento da representatividade do *picking* para 50% e a redução do *crossdocking* para 50%. Com isso verifica-se mais 450 volumes para conferência na atividade de *checkin*, no recebimento. O *picking* passará então a produzir 11.358 itens por dia, o que gera um impacto na expedição de mais 480 volumes a serem manuseados.

É possível observar na Figura 33 que quando a participação do *picking* aumenta na operação para 50% dos volumes movimentados no CD, exigem-se mais recursos humanos para a área de recebimento, com a atividade de *checkin* de produtos, inclusive aumentando o *headcount* da atividade em mais 2 pessoas.

Ainda sobre a Figura 33, há uma sinalização pela barra azul de ociosidade na etiquetagem, porém os tempos de deslocamento do funcionário e da impressão das etiquetas não foram considerados. Além disso, observou-se também que o *checkin* foi simulado como um trabalho linear, ou seja, o Flexsim não considera as perdas de tempo com as soluções dos problemas encontrados na conferência. Mesmo assim, há uma utilização do tempo de cada operador do *checkin* acima de 85%. É comum em operações de logística a realocação de pessoas entre atividades durante o dia de trabalho, o que cada vez mais se exige *know-how* das pessoas para atuação em todos os setores do CD.

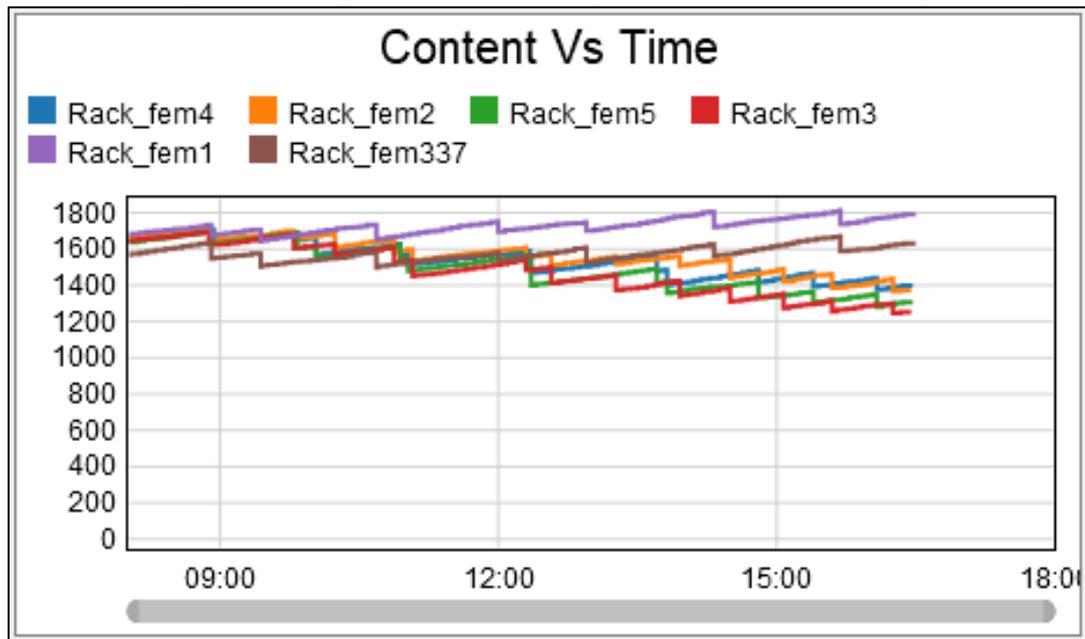
Figura 33 - Produtividade com utilização de 50% no picking e 50% no crossdocking



Fonte: O Autor (2020)

O gráfico da Figura 34 demonstra que a ocupação dos endereços disponíveis para separação no *picking* se mantém praticamente linear. Isso se dá por conta do aumento do giro de produtos dentro da área, devido ao abastecimento acontecer praticamente em conjunto com a separação. O eixo do tempo, representa os horários de um dia de trabalho e o eixo das quantidades, o número de itens abastecidos. Portanto, é possível observar, ainda na Figura 34, que a seção do feminino, por exemplo, chega a ter mais ocupação de pares de calçados no final do dia, do que no início da operação.

Figura 34 - Comportamento dos Endereços 50% de volumes no Picking

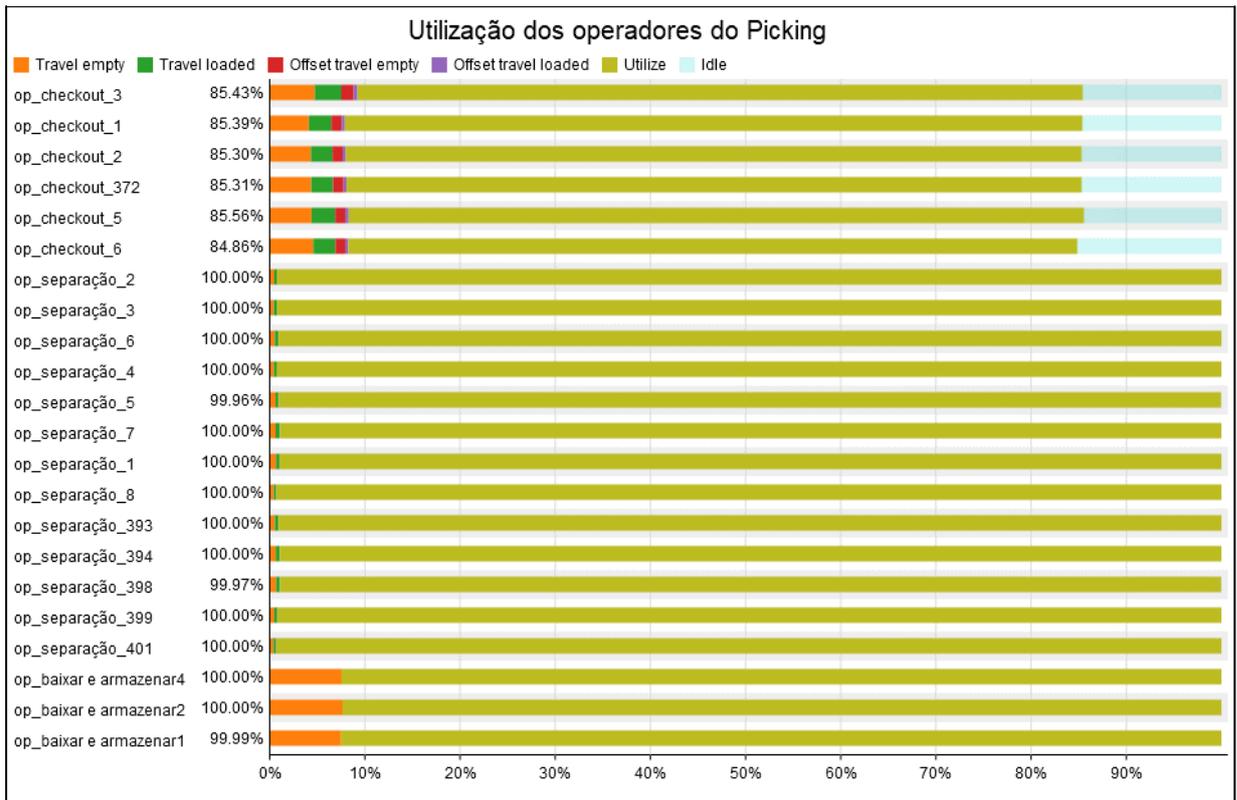


Fonte: O Autor (2020)

De acordo com a Figura 35, o Flexsim determina o aumento do quadro em mais 7 pessoas no setor de *picking*, após rodar a simulação para atender à demanda média deste cenário. Para produzir os 11.358 itens diários, são necessárias mais 5 pessoas na atividade de separação e mais 2 pessoas no processo de *checkout*.

Ainda conforme a Figura 35, é possível observar uma ociosidade de apenas 15% na atividade de *checkout*, entretanto o sistema não permitiu a redução de nenhuma das 22 pessoas necessárias no quadro total do *picking* para o atendimento desta demanda. Também é possível observar que todos os abastecedores e todos os separadores estão sendo utilizados praticamente em 100% do tempo conforme um dia de trabalho.

Figura 35 - Produtividade do Picking com 50% de volumes



Fonte: O Autor (2020)

A Figura 36 apresenta a utilização da mão-de-obra na expedição, seguindo o mesmo raciocínio do fracionamento de volumes e, conseqüentemente, de paletes causado pelo maior uso do *picking* em toda a operação. Portanto, o setor irá precisar de mais 2 operadores para escoar toda a produção do CD com este cenário.

Ainda sobre a Figura 36, é possível verificar que houve um aumento no quadro da expedição de 11 para 13 colaboradores e que estes estão sendo utilizados em quase 100% em um dia de trabalho, contemplando as atividades de repaletização das rotas de distribuição, por frequência de embarque e faturamento com o carregamento dos veículos de distribuição.

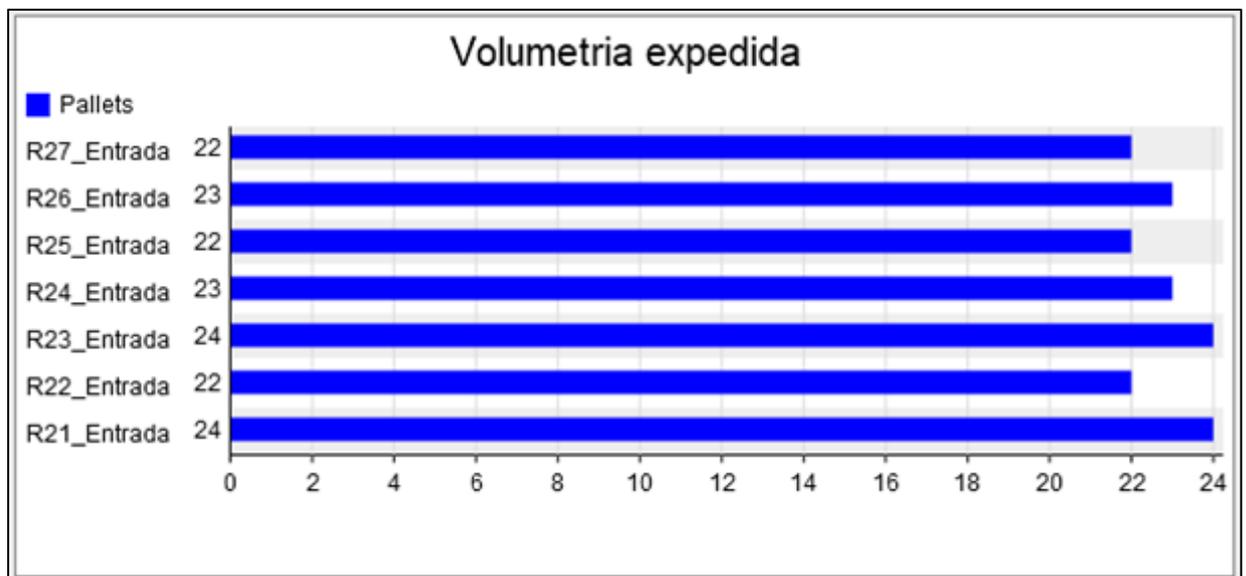
Figura 36 - Produtividade com 50% de volumes no picking e 50% no crossdocking



Fonte: O Autor (2020)

Observa-se, portanto, na Figura 37, ainda no setor de expedição, o volume de 160 paletes por dia na operação e um acúmulo diário de 2.480 volumes, oriundos de uma maior representatividade do *picking* e de uma diminuição do *crossdocking*, igualando ambas as distribuições em 50% cada.

Figura 37 - Resultado com utilização de 50% no picking e 50% no crossdocking



Fonte: O Autor (2020)

5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Esta pesquisa buscou focar na identificação, análise e modelagem de variáveis importantes nos processos logísticos em um CD de grande porte. O resultado destas informações subsidiará toda a cadeia de suprimentos, em que a rede varejista de calçados está inserida, auxiliando assim na tomada de decisão para garantir as melhores opções no abastecimento dos estoques de loja ou o equilíbrio delas.

Além disso, espera-se que o CD funcione de maneira flexível de modo a não ser excludente nos formatos operacionais de *crossdocking* e *picking*. Ou seja, a ideia central é que se apresentem quais são os fatores comerciais da demanda exigida e que influenciam no modelo de gestão operacional, a fim de adequar satisfatoriamente a distribuição dos produtos.

Com o abastecimento das 60 lojas, mais o *e-commerce* da bandeira local, permite-se que a modelagem utilizada no estudo do CD, se replique para decisões a serem tomadas na operação da loja virtual, que tem funcionamento na mesma estrutura predial. Além das definições de capacidade produtiva, as alocações de mão-de-obra são extremamente prudentes, uma vez que as operações são semelhantes nas formas de recebimento, *picking* e expedição de pedidos, podendo ter inclusive *interface* com os outros setores de toda logística.

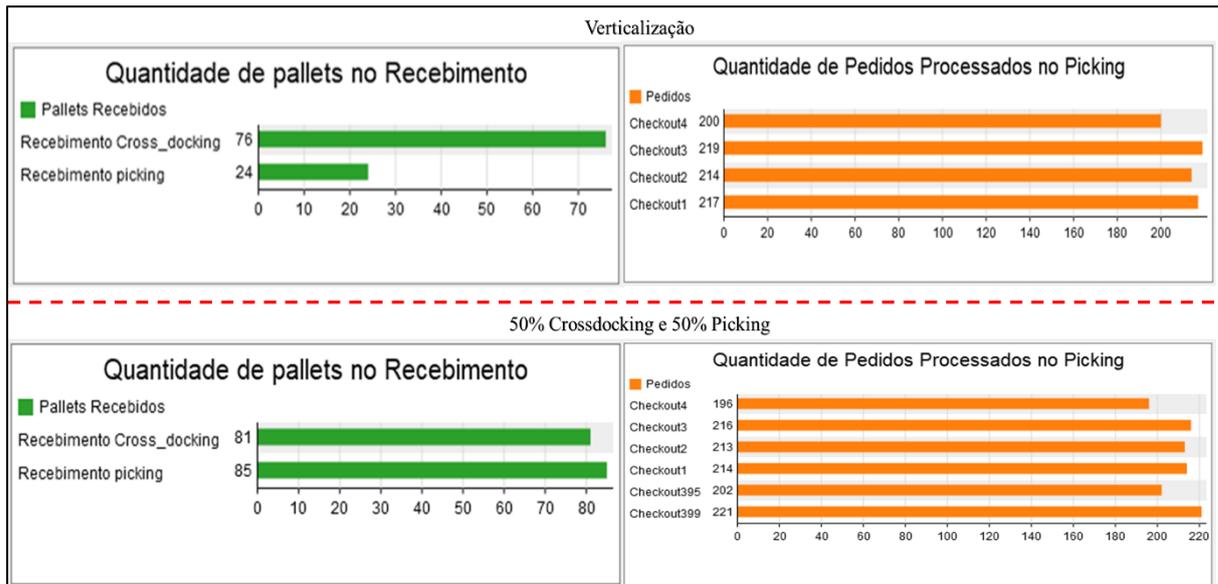
O ponto fundamental do modelo foi a sua validação. Na Figura 38, encontra-se um exemplo do setor de recebimento e o resultado das entradas no CD, após os *inputs* colocados no sistema Flexsim no cenário real. Porém quando se escolhe um cenário em relação a outro, não quer dizer que haverá alterações em todas as áreas.

Na Figura 38, é possível verificar que os recursos do cenário médio real no recebimento absorvem, por exemplo, o projeto de verticalização, que aumenta a capacidade de estocagem do CD e torna o *picking* mais produtivo em 27,5%. Os dois setores mantêm a quantidade de pessoas em seus quadros. Ou seja, a decisão está em investimentos de longo prazo como porta-paletes e empilhadeiras, não havendo necessidade de ações de curto prazo, como a contratação de pessoas.

Ainda sobre a Figura 38, na sua segunda metade, abaixo da linha tracejada, é possível perceber que aumentar o modo de distribuição de *picking*, impacta diretamente na quantidade de entrada de paletes no CD para mais. Isto ocorre porque os volumes que seguem para armazenagem no CD são todos abertos e conferidos, sendo o tempo de processo ligado a formação de paletes com menos volumes. Logo, percebe-se que um palete com caixa *crossdocking* é maior e mais rápido de montar.

Porém os impactos deste cenário, dividindo as distribuições igualmente para 50% de *crossdocking* e 50% de *picking*, requer investimentos de curto prazo na contratação de 11 pessoas a mais em todo o CD. Distribuídas em 2 para a atividade de *checkin* no recebimento, 9 para o setor de *picking*, com o aumento da produção diária para 11.358 itens e 2 para o setor de expedição, por conta do aumento do fracionamento dos volumes.

Figura 38 - Inputs em cenário real e impactos em cenários futuros no CD



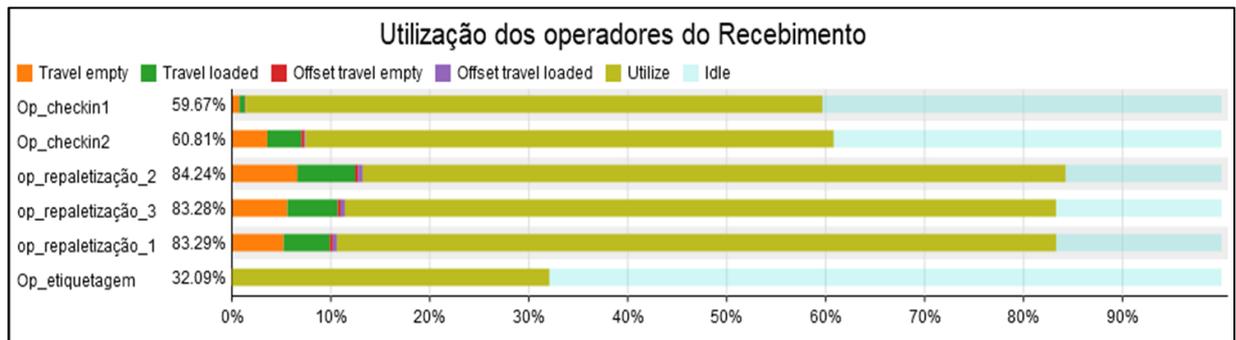
Fonte: O Autor (2020)

Por outro lado, é pertinente dizer que alguns fatores não foram considerados na modelagem deste sistema, devido à complexidade da operação. Isto poderia acarretar uma gigantesca quantidade de medições, o que impactaria diretamente no andamento da operação e em custos não disponíveis.

Uma das limitações da modelagem foi não considerar as áreas úteis, fazendo com que o Flexsim utilizasse o seu tempo de deslocamento padrão, aumentando assim a ociosidade dos funcionários do recebimento, conforme a barra azul da Figura 39. Isto gerou uma fila de espera dos operadores em terminar uma tarefa, para começar outra, ocorrendo tanto para a atividade de etiquetagem, que também não teve o seu tempo de impressão considerado, como para os funcionários responsáveis pela repaletização.

Ainda na Figura 39, a ociosidade de 40% apresentada no *checkin*, se deu porque diariamente são encontrados problemas na conferência dos produtos que podem ser mais difíceis de resolver e até, em alguns casos, ser necessário o envolvimento de outras áreas da Empresa, como por exemplo, TI, fiscal e jurídico.

Figura 39 - Produtividade do recebimento no cenário real de média demanda

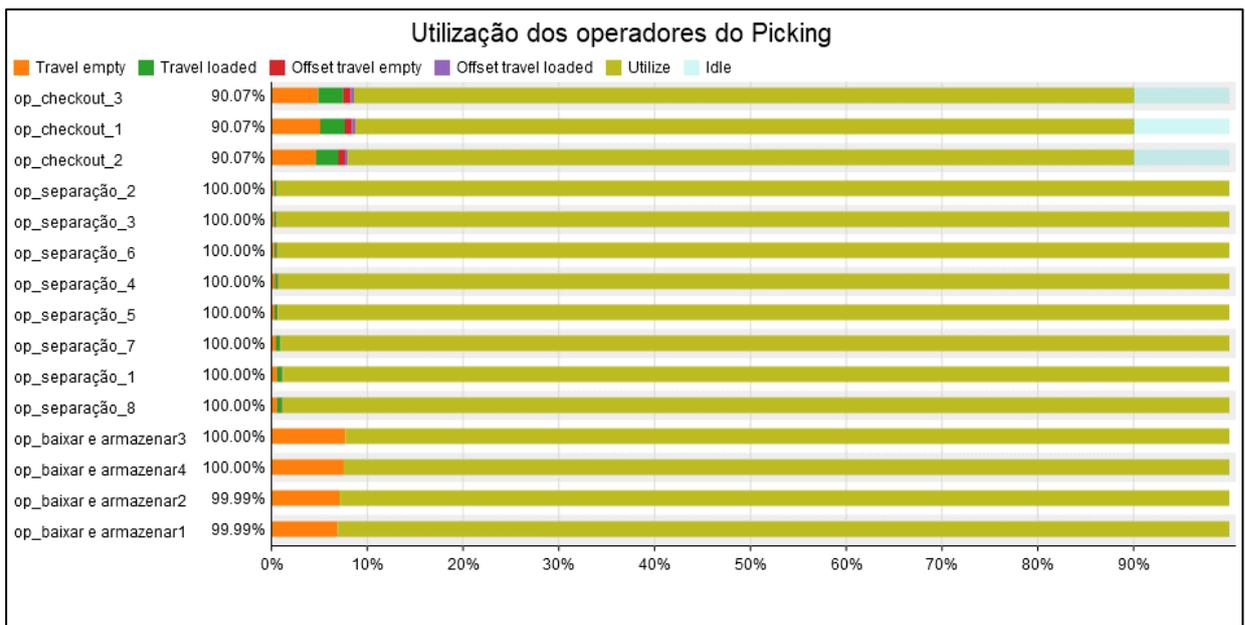


Fonte: O Autor (2020)

Considerando o cenário real de média demanda, conforme o capítulo 4, a produtividade da equipe do *picking*, de acordo com a Figura 40, está definida ao máximo. O sistema apresenta uma relação direta entre produtividade e o número de colaboradores disponíveis, ou seja, quando se retira um colaborador, a produtividade cai em aproximadamente 385 itens.

Portanto, o fator absenteísmo determina que decisões operacionais sejam tomadas diariamente na realocação de recursos entre as atividades e até entre os setores. Uma área pode ter menos demanda em relação à outra. Caso contrário, o resultado produtivo do CD poderá ser afetado negativamente.

Figura 40 - Produtividade do Picking no Cenário de Média Volumetria

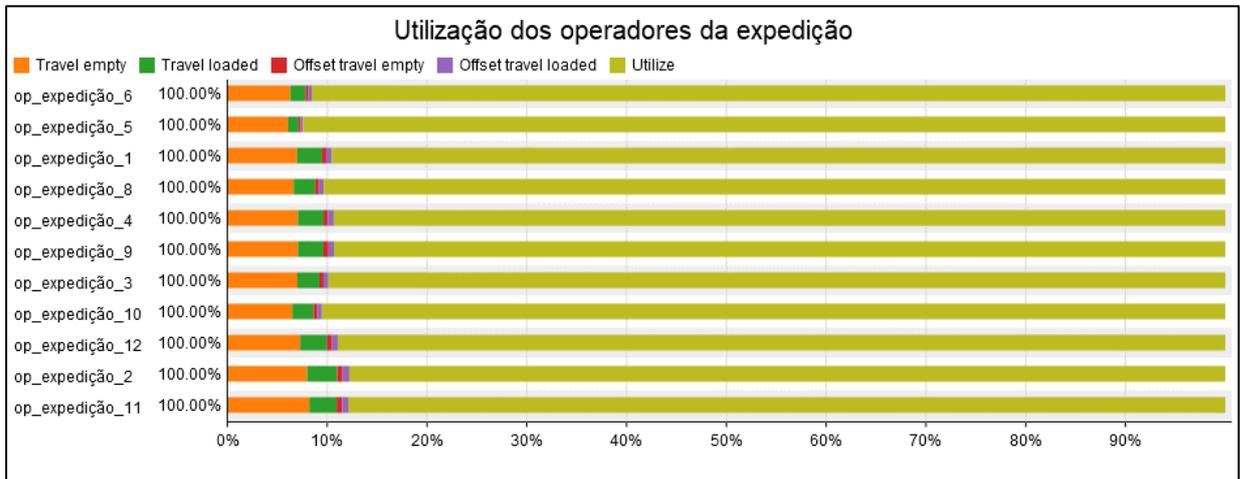


Fonte: O Autor (2020)

Observou-se, nos cenários reais de média e baixa demanda, que a expedição é o setor que menos sente a oscilação do volume produzido pelo CD; esta regra vale também para férias e

compensação de horas dos funcionários. A Figura 41 apresenta a utilização de 100% da equipe de expedição nos cenários média e baixa volumetria.

Figura 41 - Produtividade da Expedição no Cenário de Média e Baixa Volumetria



Fonte: O Autor (2020)

Porém, as oscilações nos formatos e na quantidade dos volumes produzidos pelo *picking* nos cenários futuros, aumentam a demanda da expedição com números de cenário real com alta demanda. Para todos estes momentos, de acordo com a Figura 42, se faz necessária a adequação da equipe de expedição em mais 2 pessoas, para suportar o aumento da volumetria ocasionada pelas variações dos fluxos dentro do CD.

Conforme a Figura 42, a variação da utilização de tempo dos funcionários da expedição ocorre apenas em dois, que mesmo assim estão operando em 98,47% do total de tempo disponível em um dia de Trabalho. Assim, é possível dizer que a operação fica sob risco de perda de indicadores de nível de serviço, como o carregamento de 100% do que foi expedido, devido aos riscos de perda tempo causados pela solução de problemas no dia a dia da operação.

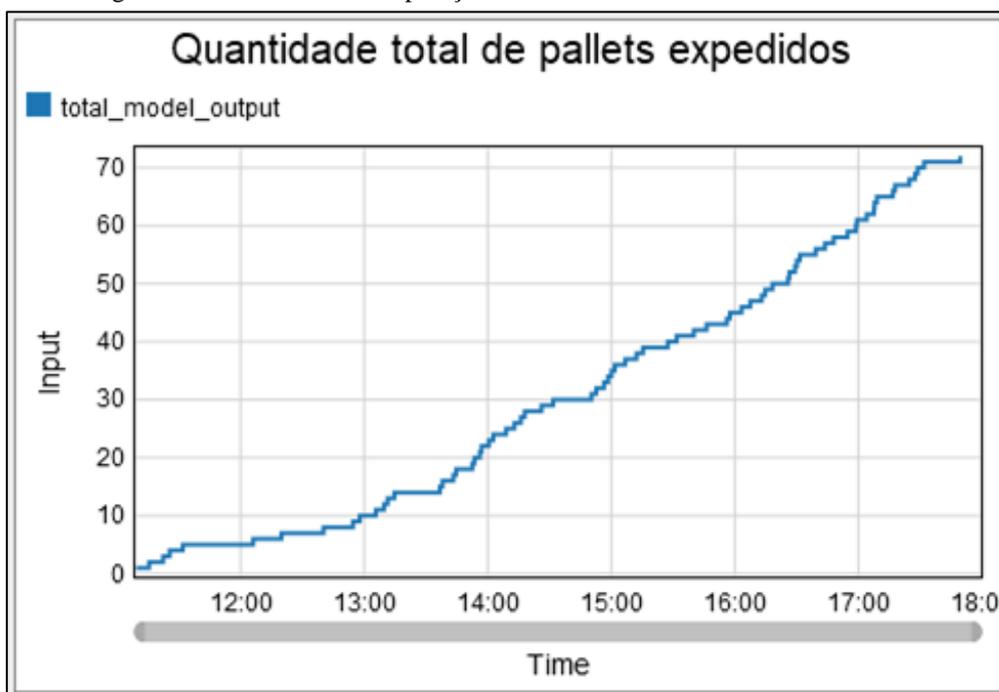
Figura 42 - Produtividade da Expedição nos Cenários de Alta Volumetria e Futuros



Fonte: O Autor (2020).

O que é muito observado na prática dentro do CD estudado, é uma sinergia entre as áreas estudadas. A Figura 43, por exemplo, aponta a importância da expedição ter um turno começando um pouco mais tarde do que o restante da operação. Uma vez que os produtos, no começo do dia, ainda estão em processamento no recebimento e no *picking*, os paletes começam a chegar mais tarde, além do carregamento dos veículos que também se concentram mais para o final do dia.

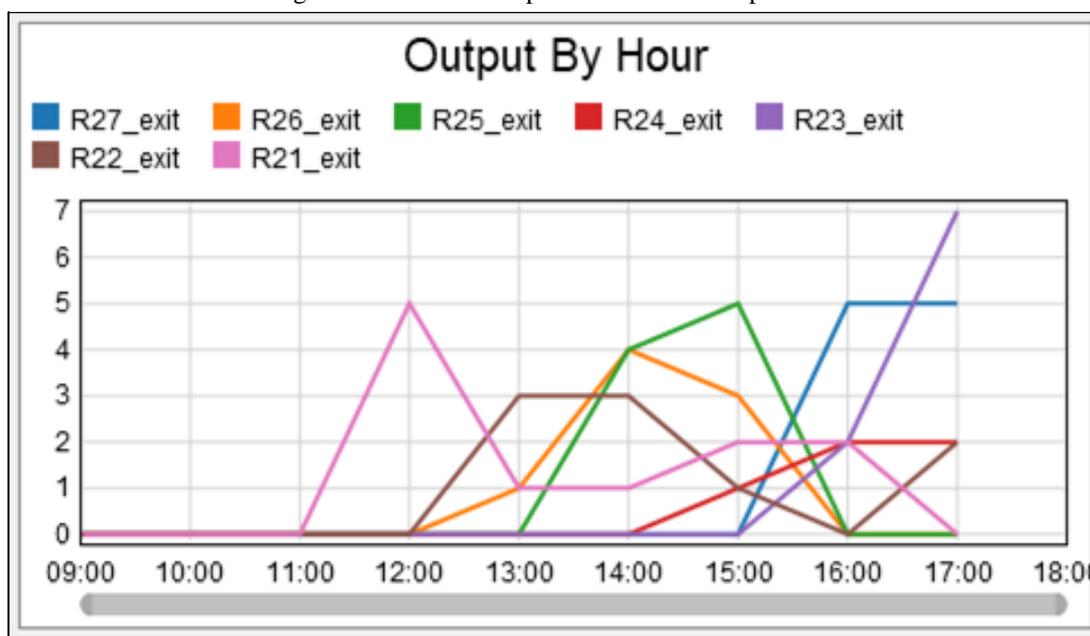
Figura 43 - Uso da MO na expedição em um cenário real de média volumetria



Fonte: O Autor (2020)

Já na Figura 44, ainda no setor de expedição, é possível observar que sem veículos para efetuar o carregamento na parte da manhã, por estarem efetuando as entregas, as atividades da expedição se concentram em repaletizar os volumes nas rotas, por loja, ainda pendentes da operação do dia anterior. A partir das 11 horas chegam os primeiros carros, demandando mão-de-obra para o tratamento do remanejamento, envio e reenvio de produtos entre lojas, para depois se iniciarem os primeiros carregamentos. Esta volumetria deve ser medida diariamente para que se evitem gargalos operacionais e até, em alguns momentos de forte demanda, reorganizar os horários de entrada e saída com a realização de horas extras.

Figura 44 - Volumes expedidos diariamente pelo CD



Fonte: O Autor (2020)

6 CONCLUSÃO

Um CD híbrido que opera com dois formatos de distribuição, *crossdocking* e *picking*, no conceito logístico, a literatura apresenta de maneira genérica o que significa e quais os impactos de um modelo em relação ao outro, não apenas no sentido de recurso, como também no sentido de *lead time* de atendimento.

Porém, quando se aprofundam as buscas na literatura por simulação de CDs híbridos, há pouquíssima discussão a respeito. O que deixa esta pesquisa ainda mais singular não apenas no mercado brasileiro, mas também em outras bases no mundo, justamente por tornar prática técnicas de simulação em fluxos simultâneos de distribuição logística.

Com tudo isto, cada vez mais, os armazéns logísticos devem apresentar flexibilidade em suas operações. Por outro lado, reduzir o espaço entre a relação inversa de custo e velocidade operacional, é fundamental para o funcionamento de operações de ponta. Pensando assim, utilizar um CD que opere com agilidade, apoiado em uma capacidade produtiva maximizada e com o mínimo de recursos possíveis, traz consigo um grande diferencial dentro da cadeia de suprimentos.

Saber exatamente, o que foi validado em um sistema de simulação de eventos discretos, apoia diversos tipos de decisão gerencial na rotina de um CD, como também auxilia em que momentos se deve realizar transformações na operação de modo a impactar minimamente na qualidade da prestação dos serviços logísticos. Isto quer dizer, que variadas ações de gestão devem ser feitas internamente, a todo tempo, lastreadas em pessoas, processos e tecnologia, com seus devidos desdobramentos internos e externos, exigindo também conhecimento das lideranças do armazém em outras esferas.

Buscar minimizar as rupturas de estoque nas lojas e a percepção dos clientes com a falta de produtos é fundamental para o cumprimento da missão da empresa que é a venda de calçados, de acordo com a necessidade das pessoas. Além dos impactos financeiros, que são muitos, este fenômeno traz consigo outras percepções negativas de forma subjetiva, inclusive o de não cumprimento da atividade fim da empresa para com a sociedade.

Assim, a pesquisa aqui apresentada, comprovou que o modelo de *crossdocking* em relação ao modelo de *picking* é composto basicamente de duas variáveis de decisão, tempo e recursos. Quanto mais se prioriza o primeiro, mais rápida e mais barata será a operação logística, porém menos assertiva na cobertura de estoque da loja. Isto porque o segundo modelo abastece o estoque da loja substituindo o produto vendido. Até porque, o custo do *picking* é maior e quanto menos pessoas, mais lento se torna.

Todavia, o viés de economia apontado pelo *crossdocking* gera um excesso de produtos nas lojas se muito utilizado. Além disso, a sobra de numerações requer o remanejamento de produtos entre lojas, aumentando o custo logístico. Por outro lado, para evitar-se a ruptura de estoque, o *picking* abastece corretamente os pontos de venda com as numerações necessárias, sendo a melhor alternativa para garantir uma venda constante.

Além disso, uma prática no CD é vista como sustentável no *picking*, a de reutilização de embalagens. Uma vez que, após os pares de calçados serem retirados das caixas máster para o abastecimento dos endereços de separação, estas caixas são desmontadas e remontadas pelos separadores para composição de novos volumes. Isto levou a gerência descartar a compra de embalagens no orçamento da rede, contribuindo com a redução de custos na operação.

É claro que outros setores da logística, não analisados neste estudo, devem ser atualizados de acordo com as alterações realizadas na ação de um modelo em relação ao outro. Ajustes na frota de veículos, por exemplo, podem ser prudentes para aumentar ou diminuir as frequências de entrega. Já no aspecto corporativo, áreas como planejamento, compras e comercial, devem monitorar o nível de estoque e o tempo de ressuprimento.

Desta forma, desenvolver projetos com base em informações precisas é crucial para um bom resultado. A validação de um modelo de simulação, através da calibração de recursos com o *input* de dados, permite isto. Ela pode servir como um valioso sistema de apoio a decisão, através da geração de cenários e com isso embasar o decisor para as melhores opções de escolha.

Logo, decisões como a de verticalizar uma operação podem influenciar diretamente na performance da logística. Ainda mais nos dias de hoje, em que os consumidores buscam por experiências positivas de compra. Por isso, ações como esta devem ser precisas para ocorram apenas ganhos na cadeia de suprimentos como um todo.

O entendimento do *picking* ser mais dispendioso nesta operação, não quer dizer que em outras operações seja. Nos dias de hoje, inclusive com os avanços tecnológicos que a logística 4.0 propõe, existem diversos modelos aplicáveis a esta atividade: *picking by light*, *picking by voice*, *picking by ring*, RFID (*Radio Frequency Identification*), transelevadores, são alguns exemplos.

Tudo parte do poder de investimento da companhia e quão estratégica é a sua logística, dado o nicho de mercado em que está inserida. Para se melhorar a eficiência do ressuprimento de produtos no varejo, realizar a separação por unidade torna operação mais assertiva e garante o produto certo para o cliente. Porém associar, tecnologias a esta prática torna o abastecimento mais veloz. Além disso, etapas do processo podem ser retiradas.

No CD deste estudo, a verticalização é a primeira fase de outros possíveis projetos que podem surgir. Em que primeiramente se aumenta a capacidade de retenção de produtos no armazém, para depois sugerir projetos de automatização como esteiras de separação, máquinas montadoras de embalagem, balanças de medição para conferência e máquinas paletizadoras, são exemplos de como tornar a operação mais rápida, se reduzida a modalidade de *crossdocking* e aumentada a estocagem de produtos para separação, em reposição à venda.

Por tudo isto, o modelo de gestão logística aqui apresentado serve como base para o gerenciamento da rotina do CD, apoiando também na definição de quando executar novos projetos na operação. Além disso, sinaliza onde o gestor deve concentrar esforços de melhoria, neste caso sendo o *picking* e a expedição, reduzir a utilização de quase 100% da mão-de-obra disponível. Desta forma, realizar o *trade-off* de um investimento em tecnologia a médio prazo e calcular o seu retorno, pode ser um complemento de informação em relação ao custo de contratação de pessoas, em um nível mais estratégico.

Adicionando ainda que o legado deixado por este estudo passa a ter uma abrangência maior, o que atinge diversas empresas do varejo mundial, independentemente do setor de atuação. Mas que podem adaptar as suas logísticas, de acordo cada realidade, em concordância com visão, missão e políticas internas. Parametrizando também o fluxo de entrega de material conforme com cada realidade enfrentada, sejam elas priorizadas pelo FIFO, LIFO ou até mesmo FEFO (*first expire, first out*).

Outra questão fundamental entendida em um CD de logística de grande porte é que a sinergia entre as áreas deve ocorrer fundamentalmente. Isto quer dizer que o *know-how* dos colaboradores deve ser participativo, ou seja, todos devem conhecer tudo. O *job rotation* (adaptado do inglês giro de funções) da média liderança também é importantíssimo para a manutenção da fluidez da operação, pois, as operações, no geral, têm pouca oportunidade de mitigação quando ocorre o absenteísmo.

Estas questões se tornam ainda mais necessárias em momentos de situações emergenciais, como, por exemplo, na Pandemia causada pela COVID-19 em 2020, onde mais especificamente no Brasil, a partir de meados de março, todos os setores da economia sofreram algum tipo de impacto ou, no mínimo, tiveram que ser readaptados para garantir os seus funcionamentos. Diante disto, o modelo de gestão aqui apresentado contribuiu demasiadamente para mitigar ações de abastecimento para a loja virtual, através do *picking* do CD ou pela retirada emergencial de produtos que estavam nas lojas físicas. Restando apenas o *e-commerce*, naquele momento, como sendo a única fonte de faturamento da rede varejista. Ambas as operações funcionam na mesma planta, o que facilitou a entrega dos produtos e a realocação de pessoas

para apoio logístico, por conta do aumento do volume enfrentado no negócio do comércio eletrônico.

No mais, ressalta-se que quanto mais informações são imputadas no sistema Flexsim, mais robusto fica o modelo. Ou seja, o ideal é seguir o fluxo operacional das áreas estudadas, coletar amostras de dados com taxa de precisão abaixo de 10% e ainda medir o tempo gasto na solução de possíveis problemas encontrados na rotina da operação. Porém, para isso seria necessário realizar constantes paradas nos processos por conta da enorme variabilidade e complexidade da operação.

Outro exemplo que traria uma maior aproximação no resultado simulado das capacidades produtivas dos três setores estudados seria um investimento na área de tecnologia de informação e banco de dados, uma vez que claramente o sistema Flexsim, por não ter o peso dos produtos cadastrados, utiliza uma média regular para a movimentação interna dos trabalhadores. No caso deste CD varejista, a quantidade de informações é gigantesca por se tratar do varejo de moda com alto índice de obsolescência nos produtos.

Por fim, o ideal desta pesquisa seria medir exatamente a operação em acordo com a sua complexidade diária. Através do *input* de todos os dados que compõem os manuais de processos e instruções de trabalho, associados aos dados reais, dados empíricos e aos estudos de cronoanálise. Mas isto inviabilizaria este trabalho. Entretanto, a metodologia utilizada, a modelagem realizada e a simulação feita no Flexsim, tornaram essencialmente a adaptação deste trabalho possível, de forma construtiva, em outras operações de logística no varejo.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, T. T. **Introduction to discrete event simulation and agent-based modeling**. London: Springer, 2011.
- ALMEIDA, A. T. **Construindo modelos de decisão**. São Paulo: Atlas, 2013.
- ALMEIDA, A., T.; MORAIS, D. C.; COSTA, A. P. C. S.; ALENCAR, L. H.; DAHER, S. F. D. **Decisão em grupo e negociação: métodos e aplicações**. São Paulo: Atlas, 2012.
- BALLOU, R. H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos e logística**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.
- BANKS, J.; CARSON II, J. S.; NELSON, B. L.; NICOL, D. M. **Discrete-event system simulation**. 5. ed. London: Pearson, 2014.
- BARNES, R. M. **Motion and time study design and measurement of work**. 7 ed. Wiley, 2009.
- BIRTA, L. G.; ARBEZ, G. **Modelling and simulation: exploring dynamic system behaviour**. 2. ed. Ottawa: Springer, 2013.
- BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J.; COOPER, M. B.; BOWERSOX, J. C. **Gestão logística da cadeia de suprimentos**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2014.
- CAUCHICK-MIGUEL, P. A.; FLEURY, A.; NAKANO, D. N.; LIMA, E. P.; TURRIONI, J. B.; HO, L. L.; MORABITO, R.; MARTINS, R. A.; SOUSA, R.; COSTA, S. E. G.; PUREZA, V. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.
- CHOPRA, S.; MEINDL, P. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos: estratégia, planejamento e operação**. 6. ed. São Paulo: Pearson, 2016.
- CHRISTOPHER, M. **Logistics and supply chain management**. London: Pitman, 1992.
- CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. **Administração da produção e operações: manufatura e serviços**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2012.
- CORSTEN, D.; GRUEN, T. Desperately seeking shelf availability: an examination of the extent, the causes, and the efforts to address retail out-of-stocks. **International Journal of Retail & Distribution Management**. 31(11), 605-617, 2003.
- DONG, H.; WANG, Z. Logistics Production Lines Optimization Analysis Based on Flexsim. ICADME 2017. **Advances in Engineering Research**, 136, 436-439. Atlantis press. 2017.
- DU, J.; LINERO, A. R. **Interaction Detection with bayesian decision tree ensembles**. Florida: Department of Statistics, Florida State University. arXiv: 1809.08524. Cornell University. 2018.

FERNANDES, B. C.; GALAMBA, F. H.; TOSTA, L. I.; LIMA, R. S. Impactos da Utilização de Centros de Distribuição na Logística de Distribuição de Produtos Acabados. **Revista de Literatura dos Transportes**. 5(3), 163-181, 2011.

HILLIER, M. S.; HILLIER, F. S. **Introdução à ciência da gestão**. 4. ed. Porto Alegre: Amgh, 2015.

KIM, S.; RASOULI, S.; TIMMERMANS, H.; YANG, D. Estimating panel effects in probabilistic representations of dynamic decision trees using bayesian generalized linear mixture models. **Transportation research part B**. 111, 168-184: Elsevier, 2018.

KOTLER, P. **Marketing essencial**. 2. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2005.

KOTLER, P.; KELLER, K. L. **Administração de Marketing**. 14. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2013.

LACHTERMACHER, G. **Pesquisa operacional na tomada de decisões**. 4. ed. Rio de Janeiro: Pearson, 2009.

LAMBERT, D. M.; STOCK, J. R.; ELLRAM, L. M. **Fundamentals of logistics management**. Homewood: McGrawHill/Irwin, 1998.

MANÃS, A. V. **Gestão da tecnologia e da inovação**. 9. ed. São Paulo: Erica, 2010.

MARQUI, A. C.; ALCÂNTAR, R. L. C.; CHRISTOPHER, M. **Using the systematic literature review procedure to identify the root causes of out-of-stock in retail supply chains**. São Carlos: UFSCar, 2010.

MARTINS, S.; AMORIM, P.; ALMADA-LOBO, B. Delivery mode planning for distribution to brick-and-mortar retail stores: discussion and literature review. **Flexible Services and Manufacturing Journal**. 30(4), 785-812, 2018.

MILIĆEVIĆ, N.; GRUBOR, A.; ĐOKIĆ, N.; AVLIJAŠ, G. Retail out-of-stocks in the context of centralized and direct delivery. **PROMET – Traffic & Transportation journal**. 30(1), 105-144, 2018.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

MOREIRA, D. **Administração da produção e operações**. 2. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2008.

MOU, S.; ROBB, D. J.; DEHORATIUS, N. Retail store operations: Literature review and research directions. **European Journal of Operational Research**. 265(2), 399-422: Elsevier, 2017.

PADILHA, G. R. N. A. B.; NASCIMENTO, L. M.; MOURA, M. C. Apresentação de um modelo de gestão para centrais híbridas de distribuição. **XL ENEGEP**. Foz do Iguaçu, 2020.

PADILHA, G. R. N. A. B.; NASCIMENTO, L. M.; MOURA, M. C. Modelo de simulação para centrais híbridas de distribuição na logística do varejo. **LII SBPO**. João Pessoa, 2020.

MOURTZIS, D.; DOUKAS, M.; BERNIDAKI, D. **Simulation in manufacturing**: review and challenges. The International Scientific Committee of the 8th International Conference on Digital Enterprise Technology. 25, 213-229: Elsevier, 2014.

NAKANO, D. N.; BERNARDES, E.; MUNIZ JR., J. **Pesquisa qualitativa em engenharia de produção e gestão de operações**. São Paulo: Atlas, 2018.

NASCIMENTO, J. I. G.; DOS REIS, E. D. S.; XAVIER, S. S.; REZENDE, A. F.; SABINO, K. L. C. Distribution center: process analysis and improvement. **Brazilian Journal of Development**. 4(4), 1476-1491, 2018.

NASCIMENTO, L. M. **Modelagem e análise de um sistema de armazenagem de produtos perecíveis utilizando simulação de eventos discretos**. Recife, 2018. 65 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2018.

PAGANIN, L. B. Z.; RIBEIRO, P. C. C.; FERREIRA, K. A.; FERREIRA, A. M. S. Inovação e logística no varejo de vestuário: a adoção da estratégia fast-fashion. **XXXV ENEGEP**. 1(4), 206-222, Fortaleza, 2015.

PALADINI, E. P. **Gestão da qualidade**: teoria e prática. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

PIAO, H.; YAO, X. Simulation and optimization of the crossdocking operation scheme of logistics center. **International Conference on Control Science and Systems Engineering**. 3, 774-779, 2017.

PIBERNIK, R. Managing stock-outs effectively with order fulfillment systems. **Journal of manufacturing technology management**. 17(6), 721-736, 2006.

PORTER, M. **Competição**. On competition. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

RICHARDS, G. **Warehouse management**: A complete guide to improving efficiency and minimizing costs in the modern warehouse. 2. ed. London: Kogan Page, 2014.

ROSS, S. M. **Simulation**. 5 ed. Massachusetts: Academic Press, 2012.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Operations management**. 6 ed. São Paulo: Atlas, 2009.

STOCK, J. R. Applying theories from other disciplines to logistics. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**. 27(9/10), 515–539, 1997.

TRIANON, A. G. **Informações de gestão de estoque e armazenagem**. 1991. Disponível em: <http://www.armazenstrianon.com.br/gestao-estoque-armazenagem>. Acesso em: 15 ago. 2019.

VERGARA, S. C. **Projetos e relatório de pesquisa em administração**. 15. ed. São Paulo: Atlas, 2014.

Vrolijk, H.; Raimo, P.; Mari, P. Behavioral and procedural consequences of structural variation in value trees. **European Journal of Operational Research**. 134, 216-227, 2001.

Wang, Y.; Chen, A. Production logistics simulation and optimization of industrial enterprise based on flexsim. **International Journal of Simulation Modelling**. 15(4), 732-741, 2016.