

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE  
ENGENHARIA DE TRANSPORTES E LOGÍSTICA

DANIÉLI BONECHER

ANÁLISE DAS ESTRATÉGIAS DE PICKING DE UM CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO  
DE PRODUTOS ALIMENTÍCIOS UTILIZANDO SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Joinville

2018

DANIÉLI BONECHER

ANÁLISE DAS ESTRATÉGIAS DE PICKING DE UM CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO  
DE PRODUTOS ALIMENTÍCIOS UTILIZANDO SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Transportes e Logística no Curso de Engenharia de Transportes e Logística da Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Christiane Wenck Nogueira Fernandes

Joinville  
2018

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, que me permitiu finalizar esta etapa da minha vida com todas as pessoas que amo ao meu lado.

A minha mãe, Ester Bonecher e meu pai Virgílio Bonecher por todo o apoio incondicional, pelas palavras de amor nos momentos difíceis e por terem feito tudo que foi preciso para me ajudar a realizar este grande sonho. Esta conquista é tão minha quanto de vocês.

Ao meu maior companheiro desta jornada, André Loch Mesones Carmona, por ter vivido comigo cada alegria e cada tristeza, do primeiro ao último dia de faculdade.

A minha orientadora Christiane Wenck Nogueira Fernandes, pelo apoio e atenção imensuráveis para o desenvolvimento deste trabalho, assim como para minha formação acadêmica.

Aos professores, Janaína Renata Garcia e Cláudio Decker Júnior, por aceitarem o convite de avaliar este trabalho.

A todos os professores do curso de Engenharia de Transportes e Logística, pelos ensinamentos transmitidos durante esta trajetória.

A minha melhor amiga Carla Puel, pela amizade e lealdade ao longo destes anos de faculdade.

A todos os amigos e colegas da Universidade Federal de Santa Catarina que estiveram ao meu lado durante estes anos, compartilhando cada momento e lutando por um objetivo em comum.

A toda equipe da OTM Logística Integrada, por todos os conhecimentos transmitidos durante meu período de estágio e pela oportunidade de me tornar membro efetivo da equipe de Engenharia Logística.

*“Toda despedida é dor...tão doce  
todavia, que eu te diria boa noite, até  
que amanhecesse o dia.”*

William Shakespeare

## RESUMO

Para se manterem competitivas no mercado as empresas buscam constantemente formas de aumentar o nível de serviço prestado e de reduzir os custos. O picking, ou separação de pedidos, é uma das principais atividades de um Centro de Distribuição, pois a forma com que é planejado exerce influência direta na qualidade e tempo de entrega do produto. Neste contexto este trabalho traz a análise de três estratégias de picking, picking discreto, por zona e por lote/zona com o objetivo de determinar qual delas é a mais adequada para um Centro de Distribuição de Produtos Alimentícios. Utilizou-se a simulação computacional através do software ARENA® assim como os conceitos de Teoria das Filas, para analisar parâmetros como o tempo gasto no processo de picking, taxa de ocupação dos colaboradores, tamanho das filas e taxa de pedidos processados para cada uma das estratégias. Após a simulação dos cenários o trabalho traz uma análise comparativa e a indicação da melhor estratégia a ser utilizada, sendo a estratégia de picking por lote e zona a que mostrou os melhores resultados em relação aos parâmetros analisados.

Palavras-chave: Picking. Simulação. Teoria das Filas.

## **ABSTRACT**

To remain competitive in the market, companies constantly seek ways to increase the level of service provided and reduce costs. Picking is one of the main activities of a Distribution Center because the way it is planned has a direct influence on the quality and delivery time of the product. In this context this work brings the analysis of three picking strategies, discrete picking, by zone and by lot / zone in order to determine which one is most suitable for a Food Products Distribution Center. It was used the computer simulation through the Arena software, as well as the Queueing Theory concepts, to analyze parameters such as the time spent in the picking process, employee occupation rate, queue size and processed order rate for each of the strategies. After the simulation of the scenarios this work brings a comparative analysis and the indication of the best strategy to be used, being the strategy of picking by lot and zone that showed the best results in relation to the parameters analyzed.

Keywords: Picking. Simulation. Queueing theory.

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 - Etapas de estudo .....                       | 17 |
| Figura 2 - Estrutura de um sistema de filas .....       | 19 |
| Figura 3 - Configuração dos sistemas de fila .....      | 21 |
| Figura 4 - Carrinho de gaiola.....                      | 36 |
| Figura 5 - Empilhadeira de pedidos.....                 | 36 |
| Figura 6 - Veículo de coleta de alto nível .....        | 37 |
| Figura 7 - Esteira transportadora.....                  | 37 |
| Figura 8 - Atividades de armazenagem.....               | 34 |
| Figura 9 - Picking discreto .....                       | 38 |
| Figura 10 - Picking por Lote .....                      | 40 |
| Figura 11 - Picking por Zona .....                      | 41 |
| Figura 12 - Picking por Onda.....                       | 46 |
| Figura 13 - Zonas do Centro de Distribuição.....        | 46 |
| Figura 14 - Centro de Distribuição representativo ..... | 46 |
| Figura 15 - Histograma das atividades.....              | 55 |
| Figura 16 - Picking Discreto .....                      | 55 |
| Figura 17 - Entrada dos pedidos (Cenário 1) .....       | 56 |
| Figura 18 - Direcionamento dos pedidos (Cenário 1)..... | 56 |
| Figura 19 - Atendimento (Cenário 1) .....               | 57 |
| Figura 20 - Conferência (Cenário 1).....                | 57 |
| Figura 21 - Análise da Conferência (Cenário 1) .....    | 58 |
| Figura 22 - Separação de um Novo item (Cenário 1).....  | 58 |
| Figura 23 - Encerramento do processo (Cenário 1) .....  | 59 |
| Figura 24 - Picking por Zona .....                      | 63 |
| Figura 25 - Entrada do pedido (Cenário 2).....          | 64 |
| Figura 26 - Direcionamento dos pedidos (Cenário 2)..... | 64 |
| Figura 27 - Recursos do cenário proposto .....          | 65 |
| Figura 28 - Atendimento Zona 1 (Cenário 2).....         | 66 |
| Figura 29 - Atendimento Zona 2 (Cenário 2).....         | 67 |
| Figura 30 - Picking por lote/zona.....                  | 70 |
| Figura 31 - Entrada do pedido (Cenário 3).....          | 71 |
| Figura 32 - Direcionamento dos pedidos (Cenário 3)..... | 71 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 33 - Atendimento Zona 1 (Cenário 2).....      | 73 |
| Figura 34 - Atendimento Zona 2 (Cenário 2).....      | 73 |
| Figura 35 - Conferência (Cenário 3).....             | 74 |
| Figura 36 - Análise da Conferência .....             | 74 |
| Figura 37 - Modelo Arena Picking Discreto .....      | 85 |
| Figura 38 - Modelo Arena Picking por Zona.....       | 86 |
| Figura 39 - Modelo Arena Picking por Lote/Zona ..... | 87 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 - Módulos de fluxograma do Arena.....                           | 31 |
| Tabela 2 - Variação de demanda em 2017 em caixas .....                   | 48 |
| Tabela 3 - Informações coletadas através de questionário .....           | 49 |
| Tabela 4 - Resultado da coleta de dados .....                            | 51 |
| Tabela 5 - Número de entidades que entraram e saíram do sistema.....     | 60 |
| Tabela 6 - Utilização de cada recurso .....                              | 60 |
| Tabela 7 - Tamanho médio de filas para cada separador (Atendimento)..... | 61 |
| Tabela 8 - Tempos médios de cada processo.....                           | 61 |
| Tabela 9 - Tempos de atendimento para a Zona 1 em minutos .....          | 65 |
| Tabela 10 - Tempos de atendimento para a Zona 2 em minutos .....         | 66 |
| Tabela 11 - Número de entidades que entraram e saíram do sistema.....    | 67 |
| Tabela 12 - Utilização de cada recurso .....                             | 68 |
| Tabela 13 - Tamanho médio de filas para cada zona .....                  | 68 |
| Tabela 14 - Tempos médios de cada processo.....                          | 68 |
| Tabela 15 - Tempos de atendimento para a Zona 1 em minutos .....         | 72 |
| Tabela 16 - Tempos de atendimento para a Zona 2 em minutos .....         | 73 |
| Tabela 17 - Número de entidades que entraram e saíram do sistema.....    | 75 |
| Tabela 18 - Utilização de cada recurso .....                             | 75 |
| Tabela 19- Tamanho médio de filas para cada zona .....                   | 76 |
| Tabela 20 - Tempos médios de cada processo.....                          | 76 |
| Tabela 21 - Resumo dos resultados.....                                   | 78 |

## LISTA DE QUADROS

|   |    |
|---|----|
| Quadro 1 - Vantagens e Desvantagens de cada estratégia..... | 43 |
|---|----|

## LISTA DE GRÁFICOS

|   |    |
|---|----|
| Gráfico 1 - Custo x Nível de serviço .....                | 22 |
| Gráfico 2 - Número de caixas expedidas em 2017.....       | 48 |
| Gráfico 3 - Distribuição das modalidades de Picking ..... | 49 |

## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| <b>1. INTRODUÇÃO</b> .....                                     | 14 |
| 1.1 OBJETIVOS .....  | 15 |
| 1.1.1 Objetivo Geral.....                                      | 15 |
| 1.1.2 Objetivos específicos.....                               | 15 |
| 1.2 JUSTIFICATIVA .....  | 15 |
| 1.3. METODOLOGIA.....  | 16 |
| <b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....                          | 17 |
| 2.1. TEORIA DAS FILAS .....                                    | 18 |
| 2.1.1 Classificação de um sistema de filas .....               | 20 |
| 2.1.2 Medidas de desempenho .....                              | 22 |
| 2.1.3 Modelos de filas.....                                    | 23 |
| 2.2 SIMULAÇÃO .....  | 24 |
| 2.2.1 Principais Distribuições Teóricas de Probabilidade ..... | 25 |
| 2.2.1.1 Principais Distribuições Contínuas .....               | 26 |
| 2.2.1.2 Principais Distribuições Discretas.....                | 27 |
| 2.2.2 Vantagens e Desvantagens da Simulação .....              | 27 |
| 2.2.2.1 Vantagens .....  | 28 |
| 2.2.2.2 Desvantagens.....                                      | 28 |
| 2.2.3 Softwares de simulação .....                             | 29 |
| 2.2.3.1 ProModel .....   | 29 |
| 2.2.3.2 Flexsim .....  | 29 |
| 2.2.3.3 Arena .....  | 30 |
| 2.3 LOGÍSTICA .....  | 32 |
| 2.3.1 Armazenagem .....  | 33 |
| 2.3.2 Picking .....  | 35 |
| 2.3.3 Estratégias de Picking .....                             | 38 |
| 2.3.3.1 Picking Discreto.....                                  | 39 |
| 2.3.3.2 Picking por Lote.....                                  | 40 |
| 2.3.3.3 Picking por Zona.....                                  | 40 |
| 2.3.3.4 Picking por Onda .....                                 | 41 |

|   |           |
|---|-----------|
| 2.3.3.5 Vantagens e Desvantagens de cada estratégia .....   | 42        |
| <b>3. ESTUDO DE CASO .....</b>                              | <b>44</b> |
| 3.1. DESCRIÇÃO DO ESTUDO DE CASO .....                      | 44        |
| 3.2. A EMPRESA .....  | 44        |
| 3.2.1 Caracterização do Centro de Distribuição .....        | 45        |
| 3.2.2. Operações realizadas no Centro de Distribuição ..... | 46        |
| <b>4. COLETA E TRATAMENTO DE DADOS .....</b>                | <b>48</b> |
| 4.1 ANÁLISE DE DADOS.....                                   | 50        |
| <b>5. DESENVOLVIMENTO DOS MODELOS.....</b>                  | <b>53</b> |
| 5.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE A SIMULAÇÃO .....                   | 53        |
| 5.2 CENÁRIO 1: PICKING DISCRETO .....                       | 54        |
| 5.2.1 Modelagem.....  | 56        |
| 5.2.2 Análise dos resultados do Cenário 1 .....             | 59        |
| 5.3 CENÁRIO 2 - PICKING EM ZONA .....                       | 62        |
| 5.3.1 Modelagem.....  | 64        |
| 5.3.2 Análise dos resultados do Cenário 2 .....             | 67        |
| 5.4 CENÁRIO 3: PICKING POR LOTE/ZONA .....                  | 69        |
| 5.4.1 Modelagem.....  | 71        |
| 5.4.2 Análise dos resultados do Cenário 3 .....             | 75        |
| 5.5 COMPARAÇÃO ENTRE OS CENÁRIOS.....                       | 76        |
| <b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>                        | <b>80</b> |
| <b>APÊNDICE A .....</b>                                     | <b>80</b> |
| <b>APÊNDICE B .....</b>                                     | <b>80</b> |
| <b>APÊNDICE C .....</b>                                     | <b>80</b> |

## 1. INTRODUÇÃO

Para as empresas se manterem competitivas no mercado é necessário sistemas logísticos eficazes que transportem produtos de qualquer lugar do mundo para um destino final com um nível de serviço satisfatório para o cliente (PARIKH *et al.*, 2008).

Para Ballou (1999) as atividades logísticas devem ser encaradas como processo contínuo, com desempenho monitorado constantemente, deve-se estabelecer padrões e metas para avaliar este desempenho, como por exemplo, expectativas de custo, níveis de serviços, que devem ser determinados a partir do planejamento dos meios e métodos para movimentação de materiais.

Neste contexto, os Centros de Distribuição desempenham um papel fundamental dentro da cadeia de suprimentos, pois nele são executadas atividades que possuem relevante participação no custo logístico, o que tem levado as empresas a um constante processo de modernização (CARDOSO *et al.*, 2016).

Em um Centro de Distribuição, além da armazenagem, uma das principais atividades logísticas é a separação de pedidos, conhecida também como *picking*, que se refere a operação de coletar os itens do armazém para atender os pedidos dos clientes, isto se deve ao fato desta atividade demandar a maior quantidade de tempo e mão de obra para ser realizada (PARIKH *et al.*, 2008).

De acordo com Cardoso *et al.* (2016), as últimas duas décadas se caracterizaram pela centralização das instalações na cadeia de suprimentos, o resultado disso é um menor número de armazéns, porém, com maior variedade de produtos, o que exige análises constantes sobre a utilização do espaço físico. Para conseguir acomodar todos os produtos, os armazéns tornam-se maiores, o que provoca um maior tempo de viagem na operação de picking.

Para analisar qual a melhor estratégia de picking a ser implantada em um Centro de Distribuição serão utilizados conceitos de Pesquisa Operacional e desenvolvidos modelos de simulação para analisar algumas medidas de desempenho em cada uma das estratégias estudadas.

De acordo com Cardoso *et al.* (2016) ferramentas e métodos de apoio à tomada de decisões estão sendo cada vez mais utilizadas por empresas de diversos segmentos como forma de encontrar melhorias de processos e reduções de custos, sendo uma das vantagens da simulação a possibilidade de testar e simular cenários sem interromper o processo real.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Determinar a estratégia de picking mais adequada a um Centro de Distribuição de produtos alimentícios, através da comparação de parâmetros ligados a eficiência da operação logística.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Criar um modelo de simulação com o software Arena.
- Estabelecer uma comparação das estratégias de picking discreto, picking por zona e picking por lote/zona utilizando-se da técnica de simulação computacional.
- Analisar as medidas de desempenho de cada uma das estratégias de picking.
- Indicar qual a estratégia de picking mais adequada de acordo com o cenário da empresa.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

A operação logística do Centro de Distribuição deste estudo apresenta com grande frequência indicadores de desempenho abaixo das metas estabelecidas, desta forma, busca-se constantemente soluções para aumento da produtividade da equipe.

Estudar qual estratégia de picking é mais adequada para a empresa garante que o processo esteja sendo realizado de acordo com as melhores práticas logísticas, podendo resultar no aumento da eficiência da operação como um todo, uma vez que outras atividades logísticas dependem da qualidade com que o picking é executado.

### 1.3. METODOLOGIA

Este trabalho é constituído por pesquisa de carácter exploratório, para Gil (2007) este tipo de pesquisa tem como principal finalidade desenvolver, esclarecer e modificar conceitos, considerando a formulação de problemas precisos e levantamento de hipóteses para sua resolução. As pesquisas exploratórias podem ser classificadas como pesquisa bibliográfica e estudo de caso, ambas classificações são aderentes a este estudo.

A pesquisa bibliográfica é aquela constituída de material já elaborado, que tem como principal vantagem permitir ao pesquisador a cobertura de uma ampla gama de fenômenos e estudos muito maior do que aquela que poderia pesquisar diretamente (GIL, 2008).

O Estudo de caso pode ser definido como um estudo sobre uma entidade ou um sistema, que busca analisar e investigar uma situação dentro de um contexto real, a fim de descobrir o que há nela de mais característico (FONSECA, 2002, p. 33). Este método de pesquisa possibilita uma visão geral do ambiente estudado podendo levantar questões importantes sobre o cenário encontrado e assim propor soluções a problemas específicos.

Este trabalho foi desenvolvido seguindo seis etapas determinantes para alcançar o objetivo deste estudo, conforme Figura 1. A primeira etapa é a identificação do problema e dos objetivos de estudo, definidos a partir da análise e conhecimento da operação logística.

A segunda etapa é a pesquisa bibliográfica, que teve como objetivo auxiliar no processo de desenvolvimento e resolução do problema. Os tópicos relevantes a serem estudados neste trabalho referem-se à teoria das filas, simulação e logística.

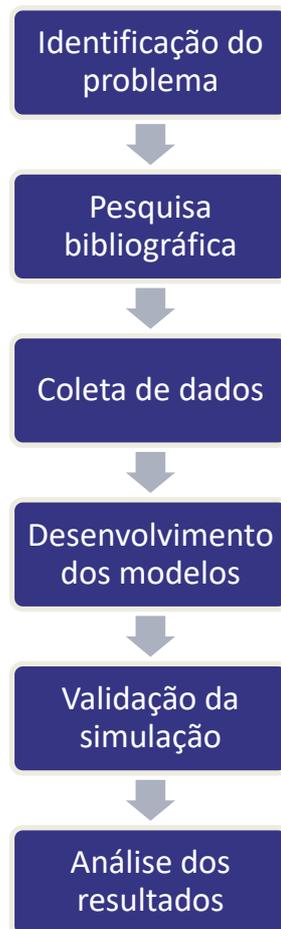
A terceira etapa é a coleta e o tratamento de dados necessários ao estudo, levantou-se dados através de arquivos históricos da empresa e através de questionários. Em seguida foi realizado o tratamento dos dados com a definição das distribuições de probabilidade de cada amostra coletada.

Na quarta etapa é construído o modelo de simulação através do software Arena®, que busca analisar três cenários. O objetivo desta etapa é obter o impacto quantitativo que os cenários representam ao sistema.

Na quinta etapa é feita a validação do modelo do cenário atual, afim de garantir que este esteja isento de erros, e em seguida é feita a construção dos três cenários propostos.

Na sexta etapa apresenta-se a análise dos resultados obtidos com a simulação dos três cenários e a partir das estimativas de desempenho apresenta-se uma comparação quantitativa entre eles.

Figura 1 - Etapas de estudo



Fonte: Autora (2018).

Após a comparação quantitativa entre cada estratégia é definida qual delas é mais adequada para o Centro de Distribuição.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo tem como objetivo apresentar alguns dos estudos existentes sobre Teoria das Filas, Simulação e Logística, que foram utilizados para a interpretação e desenvolvimento deste estudo de caso.

### 2.1. TEORIA DAS FILAS

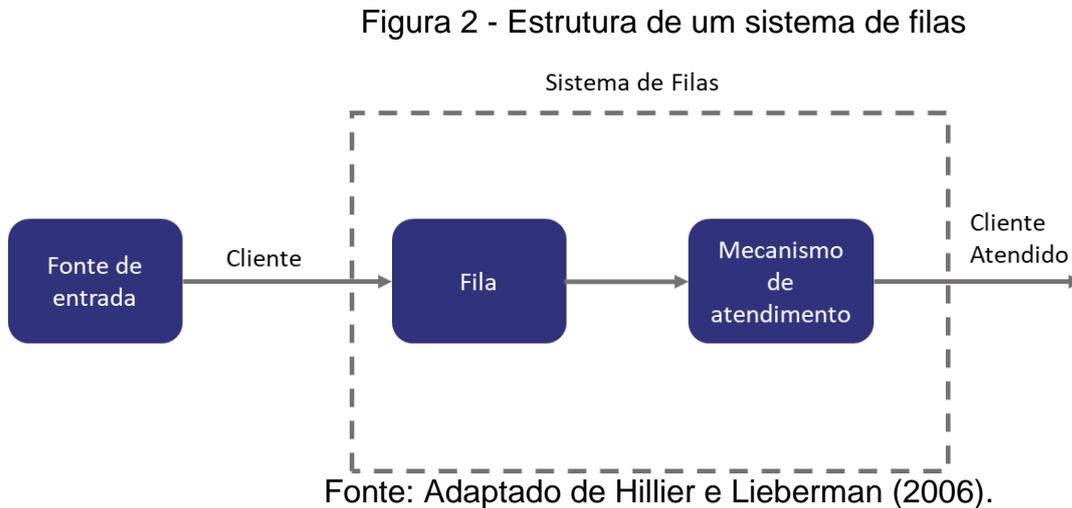
A formação de filas é um dos fenômenos mais perceptíveis em um sistema onde a demanda por um serviço é maior do que sua capacidade de atendimento. O atraso decorrente deste fenômeno pode estar associado a altos custos operacionais, uma vez que a espera excessiva por um atendimento pode resultar, por exemplo, em perdas produtivas, causando danos ao desempenho de processos seguintes, nos casos onde a realização de um atendimento depende de outro realizado anteriormente (MARTINS, 2011).

A Teoria das Filas é um ramo da Pesquisa Operacional, que teve início em 1909, por Agner Krarup Erlang, através de aplicações em sistemas telefônicos. Amplamente utilizada para o desenvolvimento de projetos, a teoria das filas tem como objetivo principal desenvolver modelos matemáticos que permitam prever o comportamento de sistemas de prestação de serviços em uma série de circunstâncias (MARTINS, 2011). Estes modelos conseguem representar os diversos sistemas de filas existentes e buscam encontrar um balanceamento entre os custos de oferecer um serviço no sistema e os custos de atrasos sofridos pelos usuários, determinando desta forma, a maneira mais eficiente de operar um sistema de filas.

“Antes de descrever as características de um sistema de filas, deve-se observar que do ponto de vista prático, o interesse de estudar estes sistemas está na possibilidade de introduzir modificações que contribuam de alguma forma para melhorar seu rendimento.” (MARTINS, 2011).

O processo apresentado pela maioria dos modelos de filas consiste basicamente em clientes que necessitam de um atendimento, são gerados no sistema

através de uma *fonte de entrada*, são direcionados a uma *fila*, são selecionados através da *disciplina da fila*, passam pelo *mecanismo de atendimento* e por fim deixam o sistema. A Figura 2 representa a estrutura deste sistema de filas (HILLIER; LIEBERMAN, 2006).



Para descrever um sistema de filas é preciso levar em consideração quatro fatores principais: o processo de entrada, o mecanismo de atendimento, a disciplina da fila, e a capacidade do sistema.

- Processo de entrada: Segundo Arenales *et al.* (2014), este processo pode ser descrito pelo intervalo de tempo  $(0,t)$  entre chegadas sucessivas de usuários ao sistema. Em geral admite-se que as chegadas são aleatórias, e que são geradas através de uma fonte, onde apenas um usuário chega na fila a cada instante, porém, uma hipótese alternativa seria a denominada chegada em lote, onde mais de um usuário chega na fila no mesmo momento. Para Martins (2011) o processo de entrada é um processo de contagem que pode ser caracterizado através da distribuição dos intervalos de tempo entre chegadas sucessivas, ou através da distribuição do número de chegadas em intervalos disjuntos. O padrão de chegada destes usuários no sistema ao longo do tempo normalmente segue uma distribuição de Poisson ou uma distribuição exponencial.
- Mecanismo de atendimento: O mecanismo de atendimento é composto por uma ou mais instalações de atendimento e em cada uma destas instalações estão contidos canais de atendimento paralelos. Assim como no processo de

chegada, o processo de atendimento pode ser individual ou em lote. O modelo de filas deve especificar a disposição das instalações e o número de atendentes em cada uma delas (HILLIER; LIEBERMAN, 2006). A principal característica do processo de atendimento é o tempo de atendimento, que é o tempo decorrido entre o início e o término de um atendimento por um determinado canal. A distribuição de probabilidade mais comum para este processo é a distribuição exponencial.

- **Disciplina da fila:** A disciplina da fila corresponde a maneira com que os usuários são selecionados para o atendimento (ARENALES *et al.*, 2014), ela é definida de acordo com as características de cada sistema, e geralmente é escolhida através da ordem de chegada, considerando o modelo FIFO (*first in, first out*), onde o primeiro a chegar é o primeiro a sair, ou através do modelo LIFO (*last in, first out*), onde o último a entrar é o primeiro a sair. A disciplina de atendimento também considera casos de prioridade, ou seja, usuários que podem passar na frente dos demais e ir para o primeiro lugar da fila (MARTINS, 2011).
- **Capacidade do sistema:** A capacidade do sistema pode ser limitada ou ilimitada, e geralmente é determinada pelo espaço físico disponível para a formação da fila. Enquanto a capacidade do sistema não for atingida seu funcionamento ocorre normalmente, ao alcançar sua capacidade a entrada de usuários no sistema é bloqueada (MARTINS, 2011).

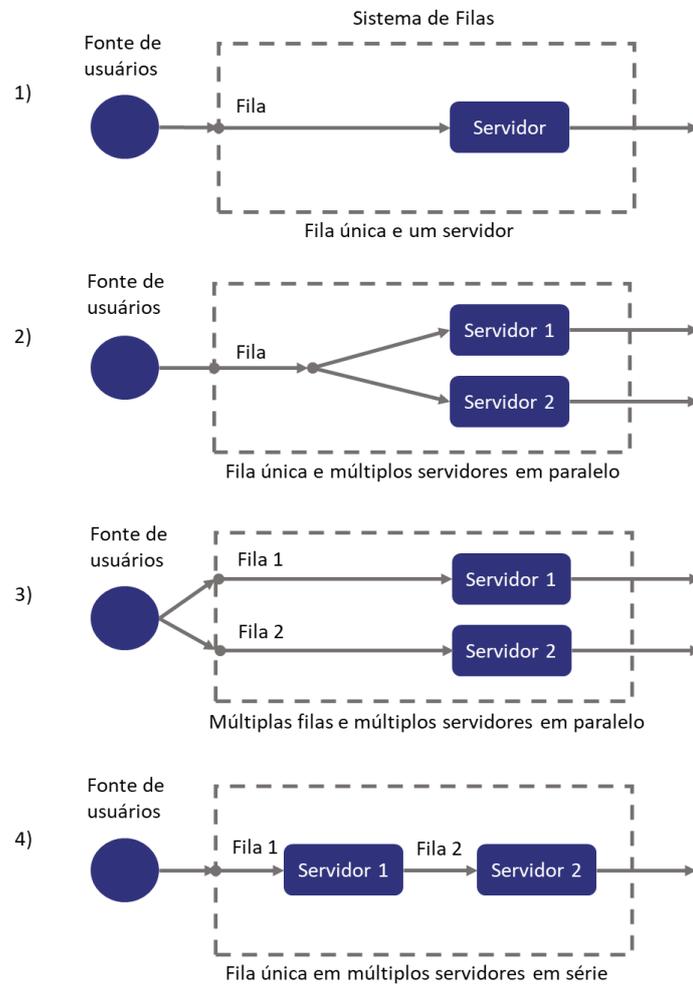
### **2.1.1 Classificação de um sistema de filas**

A classificação de um sistema de filas, definida por Arenales *et al.* (2014) é feita com base no número de canais de atendimento e no número de filas formadas para cada canal, e pode ser dividida em quatro configurações principais:

- Fila única e um servidor;
- Fila única e múltiplos servidores;
- Múltiplas filas e múltiplos servidores;
- Fila única e múltiplos servidores em série.

A Figura 3 traz a representação de cada uma destas configurações e a descrição baseada em Arenales *et al.* (2014).

Figura 3 - Configuração dos sistemas de fila



Fonte: Adaptado de Arenales *et al.* (2014).

Na primeira configuração os usuários são gerados no sistema a partir de uma fonte, e aguardam na fila o atendimento através do único canal disponível, ao completar o serviço o usuário sai do sistema e o servidor inicia um novo atendimento, esta configuração está presente em diversas situações, como por exemplo, cruzamentos em uma via, tarefas a serem realizadas por uma mesma máquina e processo de entrada de passageiros no transporte público.

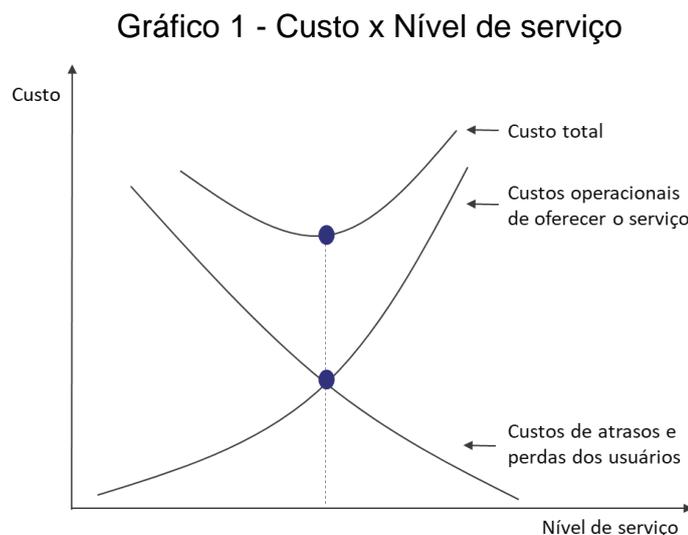
Na segunda configuração os usuários chegam ao sistema e aguardam em fila única até que um dos múltiplos servidores esteja disponível para o atendimento, é o que ocorre, por exemplo, nas filas de caixas rápidos em supermercados, nas agências de correios e nas agências de banco (ARENALES, 2014).

A terceira configuração é um conjunto de sistemas do primeiro modelo apresentado, formada por arranjos em paralelo, cujos quais podem ser divididos de acordo com a classe de usuários, como por exemplo, em filas de companhias aéreas que são divididas em primeira classe e classe econômica (ARENALES, 2014).

A quarta configuração apresentada é um conjunto de sistemas do primeiro modelo apresentado, mas desta vez, com arranjos em série, este modelo possui múltiplos estágios, ou seja, para receber o atendimento e sair do sistema os usuários precisam passar por mais de um canal de atendimento, esta configuração está presente principalmente em linhas de produção, onde um produto precisa passar por diversas máquinas até ser finalizado (ARENALES, 2014).

### 2.1.2 Medidas de desempenho do sistema de filas

Para Arenales *et al.* (2014) um sistema de filas tem a finalidade de otimizar o atendimento dos usuários de modo a minimizar a soma de custos de oferecer um serviço no sistema juntamente com a soma dos atrasos e perdas dos usuários. O Gráfico 1 ilustra uma curva de custo total em função do nível de serviço. É possível afirmar que ao aumentar o nível de serviço os custos operacionais de oferecer estes serviços também aumentam, em contrapartida, temos a redução de custos relacionados aos atrasos e perdas dos usuários.



Fonte: Adaptado de Arenales *et al.* (2014).

Ainda de acordo com Arenales *et al.* (2014) o foco da teoria das filas é a avaliação de medidas de desempenho do sistema se baseando em determinadas configurações, desta forma, a análise de modelos de decisão dependem de boas estimativas destas medidas. Para Martins (2011) as medidas de desempenho de um sistema de filas são as descritas a seguir:

- **Ls** = Número médio de clientes no sistema;
- **Lq** = Número médio de clientes na fila ou comprimento médio da fila;
- **Ws** = Tempo médio que um cliente gasta no sistema (inclui tempo de atendimento);
- **Wq** = Tempo médio que um cliente gasta na fila (exclui tempo de atendimento);
- **Pn** = Probabilidade de que o número de clientes no sistema seja  $n$ ;
- **$\rho$**  = Taxa de ocupação;
- **P0** = Taxa de ociosidade.

### 2.1.3 Modelos de filas

Os modelos de filas são representados de acordo com o processo de chegada, com o processo de atendimento, e com a disciplina do atendimento. Para Martins (2011) os principais modelos de fila são os conhecidos como Markovianos, que possuem as chegadas e atendimento seguindo a distribuição de Poisson e Exponencial.

Para analisar estes modelos e suas variações é preciso considerar a taxa média de chegada, denotada por  $\lambda n$  que representa a quantidade média de usuários que chegam no sistema; e a taxa média de atendimento, denotada por  $\mu n$  que representa a quantidade média de termos de atendimento quando existem  $n$  clientes no sistema.

O modelo M/M/1 é um dos modelos Markovianos bastante utilizados, este modelo possui um único canal de atendimento, a disciplina da fila segue o FIFO (*first in, first out*), as chegadas seguem uma distribuição de Poisson e o tempo de atendimento segue uma distribuição exponencial negativa. Há também o modelo M/M/S, que possui as mesmas características do modelo apresentado anteriormente,

porém, o número de canais de atendimento é denotado por  $S$ , ambos modelos podem ser utilizados para representar populações finitas e infinitas.

## 2.2 SIMULAÇÃO

A simulação consiste em criar uma representação de um sistema complexo a fim de fornecer previsões das medidas de desempenho de interesse. Seu objetivo é gerar históricos do comportamento do sistema ao longo do tempo, auxiliando diretamente no processo de tomada de decisão (ALTIOK; MELAMED, 2007).

Em razão do constante crescimento na utilização e disponibilidade de recursos tecnológicos, a simulação está sendo cada vez mais aceita como auxílio nas análises de projetos, seu objetivo é validar novos projetos ou procedimentos antes de colocá-los em prática, observar variáveis importantes do sistema, como gargalos e ociosidade de recursos, a fim de obter uma solução otimizada (CARDOSO *et al.*, 2016).

A representação do sistema chama-se de modelo, cujo qual é projetado para obter os aspectos comportamentais de um sistema real, desta forma, a representação criada descreve a estrutura do sistema, enquanto os históricos gerados descrevem o comportamento do sistema (ALTIOK; MELAMED, 2007).

Ainda de acordo com Altiok e Melamed (2007), desde a Segunda Guerra Mundial, a simulação tornou-se uma ferramenta indispensável para analisar sistemas, sua aplicação está principalmente em sistemas de produção, sistemas de estoque, processos de manufatura, sistemas de computadores, operações logísticas, operações financeiras e operações de transporte.

Para Pissinelli (2015) a simulação deve ser utilizada tanto para projetos e validação de novos sistemas, como também para reconfigurações físicas ou mudança nas operações de sistemas já existentes, a fim de avaliar como este sistema responderá as mudanças em sua estrutura. De acordo com Hillier e Lieberman (2006) registrar o desempenho de uma operação através da simulação permite a avaliação e a comparação das alternativas do projeto a fim de optar pela melhor delas.

Bateman *et al.* (2013) define alguns conceitos comumente utilizados para o entendimento da simulação, descritos a seguir:

- Sistema: Pode ser definido como um conjunto de entidades que trabalham e se movimentam em direção a um objetivo específico.

- Entidades: As entidades representam as pessoas, equipamentos, pedidos, objetos que se movem ao longo do modelo de simulação.
- Estado: O estado do sistema pode ser definido como um conjunto de variáveis determinísticas e probabilísticas, que possuem as informações utilizadas para descrever o sistema.
- Modelos Determinísticos: São modelos que não possuem nenhuma variável aleatória como parâmetro, isto significa que um sinal de entrada sempre vai gerar um sinal de saída.
- Modelos Estocásticos: São modelos que possuem pelo menos uma variável aleatória como parâmetro de entrada, conseqüentemente o sinal de saída também é dado de forma aleatória.
- Rodada do Modelo: Significa a execução do modelo de simulação por um determinado período de tempo.

Para Hillier e Lieberman (2006) existem duas amplas categorias de simulação utilizadas, sendo elas descritas a seguir:

- Simulação de Evento Discreto: A simulação de eventos discretos contempla o estudo de modelos de simulação no qual as variáveis mudam de estado instantaneamente em pontos específicos de tempo. Este tipo de aplicação é o mais utilizado na prática (HILLIER; LIEBERMAN, 2006).
- Simulação de Evento Contínuo: Nesta categoria as mudanças no estado do sistema acontecem de forma contínua ao longo do tempo, esta simulação exige o emprego de equações diferenciais, o que torna sua aplicação relativamente complexa (HILLIER; LIEBERMAN, 2006).

### **2.2.1 Principais Distribuições Teóricas de Probabilidade**

A identificação de uma distribuição teórica de probabilidade tem o objetivo de representar da melhor forma possível o comportamento da variável que está sendo analisada na simulação (FREITAS FILHO, 2008). As distribuições teóricas de probabilidades dividem-se entre Discretas e Contínuas.

### 2.2.1.1 Principais Distribuições Contínuas

Segundo Freitas Filho (2008) a distribuição contínua tem por objetivo descrever as probabilidades dos possíveis valores de uma variável contínua. As principais distribuições contínuas são abordadas nos tópicos a seguir:

- **Distribuição Normal:** Para Freitas Filho (2008) a distribuição normal é a mais importante das distribuições contínuas, conhecida por descrever fenômenos simétricos em volta da média e utilizada sempre que a aleatoriedade for causada por fatores independentes.
- **Distribuição Uniforme:** A distribuição uniforme tem seu emprego associado a simplicidade de sua aplicação, é normalmente utilizada quando a única informação disponível sobre a variável aleatória é que está variável ocorre entre dois limites (FREITAS FILHO, 2008).
- **Distribuição Triangular:** A aplicação da distribuição triangular acontece quando a curva associada a uma variável é desconhecida, mas têm-se estimativas dos seus limites superiores e inferiores (FREITAS FILHO, 2008).
- **Distribuição Exponencial:** Em sistemas de filas onde a chegada de usuários ocorre de maneira totalmente aleatória, onde a chegada de um usuário não é influenciada pelo instante atual ou pelo tempo decorrido desde a última chegada, os intervalos de tempos são descritos pela Distribuição Exponencial (ARENALES, 2014). Este tipo de distribuição possui grande aplicação em sistemas de fila, os fenômenos descritos pela distribuição exponencial caracterizam-se pela imprevisibilidade, sendo amplamente utilizada na modelagem de tempo decorrido entre dois eventos (FREITAS FILHO, 2008).
- **Distribuição Lognormal:** Para Freitas Filho (2008) o logaritmo natural de uma variável com distribuição normal possui uma distribuição lognormal. Se a variável que está sob análise é resultado do produto de variáveis positivas essa variável possui tendência a ter uma distribuição lognormal.
- **Distribuição Erlang:** A distribuição Erlang é normalmente utilizada quando as etapas de um fenômeno aleatório podem ser descritas de forma independente e através de distribuições exponenciais (FREITAS FILHO, 2008). É considerada uma grande família de distribuições que permite somente valores não negativos, desta forma, distribuições de tempo de atendimento empíricas

podem ser razoavelmente aproximadas por uma distribuição de Erlang (HILLIER; LIEBERMAN, 2006).

- Distribuição de Gama: Freitas Filho (2008) considera esta distribuição como uma generalização da distribuição Erlang, com a diferença que os parâmetros desta podem assumir valores não inteiros.
- Distribuição Beta: Este tipo de distribuição é utilizado para descrever variáveis aleatórias que se encontram dentro do intervalo  $[0,1]$ , sendo assim, sua principal aplicação é para representar frações ou proporções (FREITAS FILHO, 2008).
- Distribuição Weibull: A principal aplicação desta distribuição está na representação de variáveis aleatórias utilizadas para descrever características de confiabilidade de equipamentos ou sistemas (FREITAS FILHO, 2008).

#### 2.2.1.2 Principais Distribuições Discretas

Segundo Freitas Filho (2008) a distribuição discreta tem por objetivo descrever as probabilidades dos possíveis valores de uma variável discreta. As principais distribuições discretas são abordadas nos tópicos a seguir:

- Distribuição de Poisson: Segundo Freitas Filho (2008) a distribuição de Poisson é empregada para modelar o número de ocorrências que uma variável pode assumir ao longo de um intervalo contínuo, é uma das distribuições mais utilizadas na Teoria das Filas.
- Distribuição Uniforme Discreta: Este tipo de distribuição é utilizado em casos onde a variável aleatória que está sendo modelada assume apenas valores inteiros, com a mesma probabilidade e limitados a um intervalo mínimo e máximo (FREITAS FILHO, 2008).

#### 2.2.2 Vantagens e Desvantagens da Simulação

A utilização da simulação computacional e seus conceitos básicos são, de uma maneira geral, facilmente compreendidas por analistas e gerentes que precisem de auxílio no processo de tomada de decisão em seus projetos, entretanto, mesmo

que esta técnica seja uma ótima ferramenta de análise é preciso conhecer as vantagens e desvantagens de sua utilização (FREITAS FILHO, 2008).

#### 2.2.2.1 Vantagens

A lista a seguir descreve as principais vantagens da simulação, baseada em conteúdo elaborado por Freitas Filho (2008).

- Após o desenvolvimento do modelo de simulação, este poderá ser utilizado por inúmeras vezes para a simulação de diferentes cenários.
- A simulação é na maioria das vezes mais fácil de aplicar do que métodos analíticos.
- Os modelos analíticos exigem um número muito grande de simplificações, a fim de torná-los matematicamente tratáveis, já os modelos de simulação não apresentam esse tipo de restrições.
- Os modelos de simulação podem ter um nível de detalhamento tão grande quanto o sistema real, sendo assim é possível a análise de cenários sem que o sistema real seja interrompido.
- É possível reproduzir o funcionamento do sistema de maneira lenta ou acelerada.
- Em um sistema de simulação é possível identificar facilmente a existência de gargalos no sistema.
- Um modelo de simulação mostra a realidade de como um sistema opera, em oposição ao modelo que todos pensam que ele opera.

#### 2.2.2.2 Desvantagens

A lista a seguir descreve as principais desvantagens da simulação, baseada em conteúdo elaborado por Freitas Filho (2008).

- Para a construção de um modelo de simulação é necessário treinamento específico e aprendizado que se dá ao longo do tempo.
- Muitas vezes os resultados de uma simulação são de difícil interpretação, existe uma dificuldade em identificar quando uma observação é resultante de

um processo significativo do modelo e quanto é resultante de um processo aleatório.

- O desenvolvimento de modelos de simulação consome muitos recursos, a tentativa de simplificação do modelo pode resultar em dados insatisfatórios.

### 2.2.3 Softwares de simulação

Neste tópico serão analisados alguns dos principais softwares de simulação existentes no mercado e que são amplamente utilizados para a avaliação de sistemas logísticos.

#### 2.2.3.1 ProModel®

O ProModel®, versão RunTimeSilver é um software de simulação de eventos discretos, na sua versão estudantil se limita a quantidade de locais para o processamento das entidades, por esta razão, permite a simulação de sistemas de baixa complexidade, possibilitando análises de projetos de forma a otimiza-lo (CARDOSO *et al.*, 2016).

Lu e Wong (2005), define o ProModel® como uma plataforma de modelagem baseada em objetos que possui interface intuitiva. Este software possui um conjunto de construções que servem para representar os componentes físicos e lógicos do sistema a ser modelado, composto basicamente de locais, entidades, processos e chegada (YU *et al.*, 2006).

#### 2.2.3.2 Flexsim®

“O software Flexsim® é uma integração típica entre a tecnologia de realidade virtual e a simulação orientada a objetos discretos.” (CHEN *et al.*, 2013).

Para Zhu *et al.* (2014), o Flexsim® utiliza tecnologias de processamento, inteligência artificial e técnica de simulação, sendo adequado para a simulação de processos de fabricação, armazenamento e distribuição de cargas, operações de logística e transporte, por sua tecnologia de processamento de imagens tridimensionais permite a fácil visualização de gargalos e filas no sistema.

Para Chen *et al.* (2013) o Flexsim® é um software universal de simulação de eventos discretos e contínuos, que permite simular diferentes sistemas em diferentes setores da indústria, fornecendo meios técnicos e eficazes para a tomada de decisão científica.

### 2.2.3.3 Arena®

O software Arena® versão 14 foi desenvolvido pela empresa Rockwell Automation, seu objetivo é possibilitar o desenvolvimento de modelos que descrevam aplicações reais utilizando um conjunto de módulos cujo objetivo é representar as atividades de processamento, separação, transporte, recebimento, entre outros. (CARDOSO *et al.*, 2016).

“Este programa apresenta um ambiente gráfico integrado de simulação, que contém todos os recursos para modelagem, animação, análise estatística e análise de resultados e utiliza a abordagem por processos para execução da simulação.” (SILVA *et al.*, 2007).

O Arena®, assim como a maioria dos softwares de simulação permite a visualização do sistema que está sendo modelado constituído de um conjunto de estações de trabalho que são prestadoras de serviços aos clientes (SILVA *et al.*, 2007).

Os elementos básicos de um modelo desenvolvido no Arena são as entidades que se movem ao longo do sistema, as estações de trabalho que representam onde será prestado um determinado serviço ou atividade, e o fluxo que representa o percurso que as entidades irão percorrer ao longo do sistema (PRADO, 1999).

A versão *Student* é fornecida gratuitamente, porém, possui um limite na quantidade de entidades do processo ou fila do sistema, na prática isto significa que apenas sistemas de baixa complexidade sejam simulados (CARDOSO *et al.*, 2016).

Ainda segundo Cardoso *et al.* (2016), para o desenvolvimento de um modelo de simulação utilizando o Arena® é preciso o entendimento de três áreas do software, conforme são descritas a seguir:

- I. Área de Templates: É a área que contém os conjuntos de módulos necessários para desenvolver o modelo. Estes módulos são apresentados em dois conjuntos, módulos de fluxograma e módulo de dados. Os módulos de dados *Attribute*, *Entity*, *Queue*, *Resource*, *Variable*, *Schedule*

e Set são utilizados para o armazenamento de informações do modelo, já os módulos de fluxograma são inseridos na área de modelagem segundo funções descritas na Tabela 1.

Tabela 1 - Módulos de fluxograma do Arena®

| <b>MÓDULO</b> | <b>DESCRIÇÃO</b>  |
|---------------|---|
| Create        | Representa o início de um processo, inserido normalmente no início de um fluxograma. Basicamente, o módulo Create “cria” as entidades que irão circular pelo sistema.                   |
| Entidades     | Podem ser caracterizadas como “objetos” circulantes pelo sistema. São as entidades que sofrem transformação e movimentação.   |
| Process       | Tem a funcionalidade de processamento das entidades, onde é possível designar recursos para efetuar a atividade, como também determinar tempos de atrasos para as entidades no sistema. |
| Decide        | Ferramenta utilizada para apresentar escolhas, divisões, separações. Baseia-se em probabilidades ou em condições pré-definidas.   |
| Batch         | Utilizado para criar agrupamentos de entidades.   |
| Separate      | Possui duas funcionalidades, desfazer o agrupamento criado pelo módulo Batch, ou para criar “cópias” das entidades que passem pelo módulo.  |
| Assign        | Permite associar valores, atributos, ou alterar outros parâmetros ou variáveis do sistema.  |
| Record        | Utilizado para coletar informações em determinados “pontos” do modelo, como por exemplo, contagem de entidades, frequência e intervalos de tempo.                                       |
| Dispose       | Utilizado como saída para a entidade do sistema.  |

Fonte: Adaptado de Cardoso *et al.* (2006).

- II. Área de Modelagem: A área de modelagem é o espaço destinado ao desenvolvimento do modelo de simulação através da inserção dos módulos de fluxograma.
- III. Área de Tabela: Local destinado a visualização de informações dos módulos, que permite a alteração e conferência dos valores empregados.

Assim como a maior parte dos softwares de simulação, o Arena® é constituído de um conjunto de estações de trabalho que prestam algum tipo de serviço ao cliente, desta forma, é usado para simular diversos ambientes, como linhas de produção, tráfego urbano e ambientes logísticos (SILVA *et al.*, 2007).

## 2.3 LOGÍSTICA

O nome logística tem como origem o termo grego *logos*, que significa razão ou racionalidade, e o termo *logistiki*, que significa administração financeira (DIAS, 2012). A Associação Brasileira de Logística e Transporte – ABTC (2010) define logística como sendo uma parte da cadeia de abastecimento responsável por planejar, implementar e controlar com eficácia o fluxo e armazenagem dos bens, dos serviços e da origem e destino de consumo destes itens, buscando satisfazer todas as exigências dos clientes em geral.

Os princípios da logística se originaram nas atividades militares, em razão da necessidade de enormes e constantes deslocamentos de recursos, suprimentos e de pessoas. Para este deslocamento ocorrer de forma eficiente era necessário um planejamento prévio que permitisse a execução das atividades logísticas de forma precisa e assertiva (DIAS, 2012).

Segundo Paura (2012), a Segunda Guerra Mundial é considerada o berço da logística moderna, isto porque até o fim da segunda guerra a logística sempre esteve associada as atividades militares. Após este período, em razão da necessidade de reconstruir as cidades destruídas pela guerra a logística passa a ser adotada como ciência por organizações e empresas civis.

Neste contexto, surge o termo logística empresarial, que é definida por Ballou (1999) como responsável por todas as atividades de movimentação e armazenagem, que busca facilitar o fluxo de produtos, desde a aquisição da matéria prima para produzi-lo até a entrega para o consumidor final.

De acordo com Servera-Francés (2011), foi a partir dos anos 1960 que a logística adquiriu uma orientação ao cliente, que é materializada na oferta de um serviço logístico adaptado as necessidades e exigências do consumidor, afim de permitir sua satisfação. Após este período a logística passou a ser tratada como atividade estratégica, sendo capaz de gerar vantagens competitivas para a empresa, através de níveis de serviços reconhecidos pelos clientes.

Para Ballou (1999), a meta de nível de serviço logístico é fornecer o produto correto, no tempo correto e na condição desejada, ao menor custo possível. Este nível de serviço é obtido através da administração eficiente das operações chaves da logística, como transporte, gestão de estoque, processamento de pedidos e atividades de apoio.

Considerando que a logística é uma atividade de alto custo, as empresas buscam continuamente a redução destes custos, o aumento da produtividade e um sistema logístico eficiente que seja capaz de tornar o produto competitivo no mercado (BALLOU, 1999).

### **2.3.1 Armazenagem**

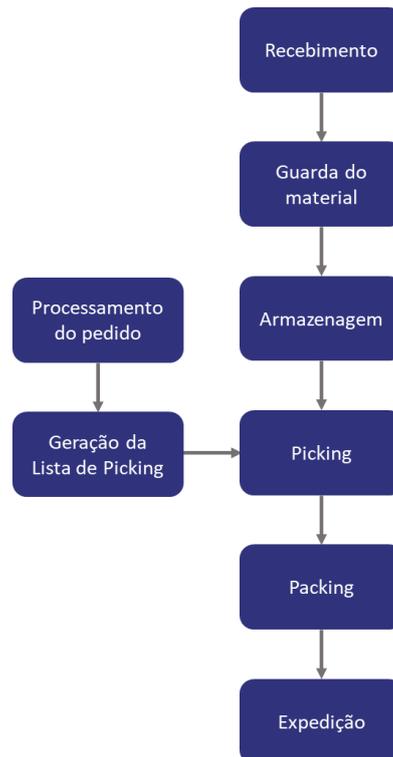
Segundo Alvarenga e Novaes (1994) um armazém é um componente importante na cadeia logística e deve ser visto como um sistema em funcionamento, sendo as componentes chaves deste sistema descritos a seguir:

- **Recebimento das mercadorias:** O processo de recebimento tem início quando o veículo é autorizado a entrar no armazém ou Centro de Distribuição para efetuar a descarga. Paralelamente a descarga ocorre a conferência das mercadorias recebidas, e análise da qualidade do material recebido (SANTOS, 2005).
- **Armazenagem:** Para Ballou (1999) a armazenagem pode ser definida como a administração dos espaços necessários para manter os estoques, contempla questões de localização, dimensionamento de área, arranjo físico, estoque e configuração do armazém.
- **Picking:** O Picking é um processo pelo qual os itens são coletados nos pontos de armazenagem e transportados até um local específico para embalagem ou expedição. Normalmente a atividade de picking tem início com um pedido de um cliente e uma lista de picking, que especifica a localização dos itens, quantidade e sequência que eles devem ser selecionados. O selecionador então percorre o armazém para coletar este pedido (LIN, 1999).
- **Packing:** O processo de embalagem, também conhecido como Packing, consiste em acondicionar o material dentro da embalagem adequada, a fim de permitir a movimentação sem qualquer dano ao produto (BALLOU, 1999).

- Expedição: A atividade de expedição contempla a separação dos pedidos no local de chegada do veículo, conferência, e carregamento dos pedidos no veículo que realizará a distribuição do material.

A Figura 4 representa o fluxo do processo logístico realizado dentro de um armazém, contempla as atividades realizadas desde o recebimento da mercadoria no local até o seu despacho ao cliente.

Figura 4 – Atividades de armazenagem



Fonte: Adaptado de Lima (2013).

O correto gerenciamento da armazenagem e do manuseio dos materiais torna-se essencial para a lucratividade da empresa, uma vez que pedidos entregues com danos ou em volumes de difícil manuseio afetam negativamente a satisfação do cliente, influenciando em sua próxima compra (BALLOU, 1999).

Segundo Ballou (1999), a armazenagem e o manuseio de mercadorias são componentes essenciais dentro do conjunto das atividades logísticas, seus custos podem representar de 12 a 40% dos custos logísticos da empresa.

Para Dias (2012), uma das formas de aumentar a produtividade dos armazéns é a redução da distância percorrida para os manuseios de materiais entre os compartimentos de estocagem e as plataformas de recebimento e expedição, pois

como a atividade de manuseio é repetida por inúmeras vezes, qualquer ineficiência no percurso pode ocasionar em um impacto nos níveis de serviço do armazém.

Ainda para Dias (2012), com o aumento de competitividade entre as empresas, ter o controle sobre a movimentação e armazenagem de materiais e garantir um fluxo contínuo e ágil de produção, faz com que a empresa se torne flexível diante do consumidor e competitiva diante do mercado.

### 2.3.2 Picking

Segundo Parikh *et al.* (2008), o picking é a atividade logística com maior prioridade para melhorias de produtividade dentro de um Centro de Distribuição, isto ocorre em razão da alta contribuição que esta atividade desempenha dentro do custo logístico daquele local.

Para Lin (1999), o picking dos pedidos é considerado o processo de maior utilização de mão de obra dentro de um Centro de Distribuição, por esta razão a eficiência com que esta atividade é realizada, principalmente em termos de distâncias percorridas, pode resultar em uma considerável economia de tempo e de custo. Rushton *et al.* (2006) considera o picking uma atividade crítica, pois impacta diretamente no atendimento ao cliente, que espera que seu pedido chegue no prazo, com precisão e em boas condições.

Existem muitos sistemas de informações e robóticos que podem ser utilizados na operação de picking e que conseguem fornecer altos níveis de precisão e produtividade, apesar disto, esta tecnologia ainda não é plenamente difundida, e a atividade de picking tende a ser em geral manual (LIN, 1999).

Para Rushton *et al.* (2006), os profissionais responsáveis por realizar a atividade de picking são chamados de separadores. Antes de iniciar este processo o separador coleta a lista de picking, que contém o endereçamento, lote e a quantidade de cada item do pedido e seleciona o equipamento de picking necessário para alocar os pedidos separados durante o processo. A seguir estão descritos os equipamentos específicos para atividade de picking:

- Carrinhos ou paletes de gaiola: Neste método o separador empurra o carrinho ou palete de gaiola entre os corredores do armazém para acessar os produtos. Este tipo de equipamento possui rede de arame nos três lados, e é uma unidade de

carga muito comum tanto para picking como para transporte (RUSHTON *et al.*, 2006). O carrinho de gaiola é apresentado na Figura 5.

Figura 5 - Carrinho de gaiola



Fonte: Revista NEI (2015).

- Empilhadeiras de pedidos: São veículos motorizados que possuem garfos e são capazes de levar paletes de madeira ou paletes de gaiola onde serão colocados os itens coletados, possuindo desta forma grande capacidade de coleta (RUSHTON *et al.*, 2006). A empilhadeira de pedidos pode ser visualizada na Figura 6.

Figura 6 – Empilhadeira de pedidos



Fonte: Logisct Inside (2017).

- Veículos de coleta de alto nível: Utilizados quando é necessário retirar produtos em níveis mais altos nos porta paletes. Este tipo de equipamento possui uma elevação na cabine de modo que o separador possa ser levantado no ponto exato onde está o item para realizar a coleta (RUSHTON *et al.*, 2006). O veículo de coleta de alto nível pode ser visualizado na Figura 7.

Figura 7 – Veículo de coleta de alto nível



Fonte: Logisct Inside (2017).

- Esteiras transportadoras: Neste equipamento, os separadores selecionam os itens do pedido e os colocam em uma esteira que encaminha estes itens até a área de packing. Estes itens podem ser transportado pela esteira diretamente na superfície ou em uma embalagem transportadora própria. A esteira transportadora pode ser visualizada na Figura 8.

Figura 8 – Esteira transportadora



Fonte: MB Magazine (2015).

Ao selecionar um dos equipamentos de picking descritos o separador inicia o percurso dentro do Centro de Distribuição. O endereçamento tem influência direta com a atividade do picking e com o percurso feito pelo separador dentro do Centro de Distribuição. É o endereçamento que direciona o separador para o local onde está armazenado o item solicitado pelo cliente. Há dois tipos de sistema de endereçamento:

- Endereçamento fixo: Designa localização específica para cada produto, sistema conhecido pela sua simplicidade operacional. Para grandes operações a identificação é feita por seção, número da divisão e prateleira. Funcionários que trabalham constantemente na operação já memorizam o endereçamento dos itens, o que torna a operação de picking mais rápida. Possui a desvantagem de permitir espaço ocioso, visto que cada endereço é destinado a um produto específico (BALLOU, 1999).
- Endereçamento variável: O objetivo deste sistema é possibilitar o melhor uso das áreas, desta forma, quando um produto chega ao armazém é alocado em qualquer espaço livre disponível, este tipo de endereçamento requer um sistema de registro de material eficaz. Como desvantagem está o aumento do percurso feito pelo separador para completar o pedido, uma vez que um mesmo tipo de produto pode estar localizado em diferentes pontos (BALLOU, 1999).

Ao localizar os itens no Centro de Distribuição o separador confere as informações da lista de picking com as informações presentes em uma etiqueta de identificação do produto para concluir a coleta daquele item (LIN, 1999).

Após este processo os itens são conferidos e transferidos para unidades de acondicionamento exigidas pelo cliente, estas unidades são em geral paletes ou caixas, os itens então são embalados, etiquetados e movidos até a área de expedição para a formação das cargas do veículo que será despachado (LIN, 1999).

Recentemente, algumas tecnologias foram introduzidas dentro dos Centros de Distribuição a fim de tornarem as operações de picking mais eficientes, como por exemplo, coletores de dados integrados com o sistema de gestão de estoque, etiquetas RFID (Radio Frequency Identification) que permitem a identificação dos itens por Rádio Frequência; e picking por voz, que permite ao separador receber instruções do pedido por fones de ouvido, dispensando a necessidade da Lista de Picking. Mesmo com a implantação destas tecnologias, tornar o picking uma atividade eficiente continua sendo um desafio dentro dos Centros de Distribuição (LIN, 1999).

### **2.3.3 Estratégias de Picking**

As estratégias de picking em um Centro de Distribuição definem a maneira como os separadores percorrem a área de estoque para realizar a separação dos

pedidos, Parikh *et al.* (2008). Seu uso tem como objetivo melhorar o desempenho da separação de pedidos e tornar a atividade mais eficiente (LIN, 1999).

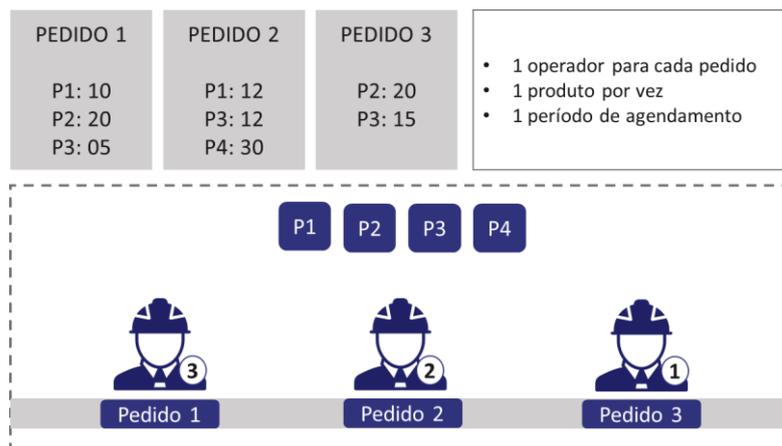
Segundo Parikh *et al.* (2008), ao escolher uma estratégia de picking, a empresa deve definir um conjunto de objetivos a serem desempenhados naquela operação, algum dos objetivos normalmente almejados incluem a maximização de rendimento, a minimização do custo, do espaço, do tempo de resposta, da taxa de erro, ou uma combinação deles. Nos próximos itens são descritas as estratégias de picking normalmente utilizadas dentro de um Centro de Distribuição.

### 2.3.3.1 Picking Discreto

No picking discreto, um separador é responsável por coletar todos os itens em um único pedido durante um percurso de coleta. Nesta estratégia o separador seleciona um pedido por vez e após completá-lo inicia o picking de um outro pedido (PARIKH *et al.*, 2008).

A Figura 9 traz a representação desta estratégia de picking, considerando a operação com três pedidos, três separadores, e quatro tipos de produtos representados por P1, P2, P3, P4.

Figura 9 - Picking discreto



Fonte: Adaptado de Lima (2013).

De acordo com a figura 9, cada pedido é atendido por um único separador, que percorre o Centro de Distribuição em busca dos produtos contidos no seu pedido

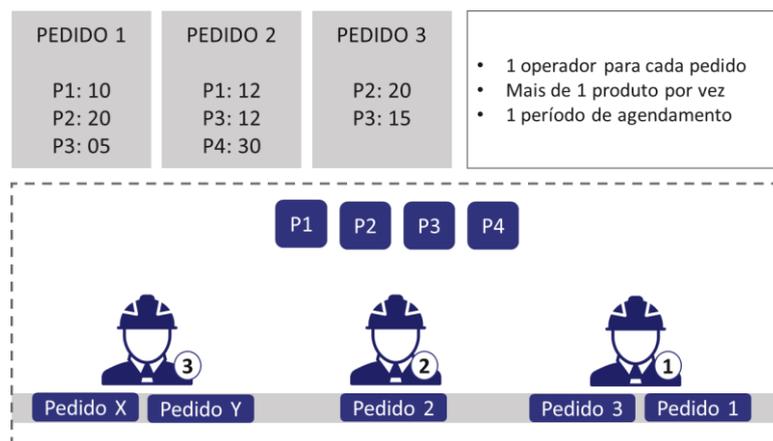
até completa-lo. Os separadores podem muitas vezes estar no mesmo endereço para coletar um mesmo tipo de produto para pedidos diferentes.

### 2.3.3.2 Picking por Lote

No picking por lote, um certo número de pedidos é agrupado, o separador consulta quais os lotes comuns nestes pedidos e começa o processo de picking, coletando diversos produtos por vez. Cada operador fica responsável por um determinado conjunto de pedidos (PARIKH *et al.*, 2008).

A Figura 10 traz a representação desta estratégia de Picking, considerando a operação com três pedidos, três separadores, e quatro tipos de produtos representados por P1, P2, P3, P4.

Figura 10 - Picking por Lote



Fonte: Adaptado de Lima (2013).

Conforme a Figura 10, o separador 1 e 3 estão realizando o Picking em Lote, onde o separador 1 é responsável pelos pedidos 1 e 3 e irá coletar os lotes destes pedidos na mesma passagem pelo estoque.

### 2.3.3.3 Picking por Zona

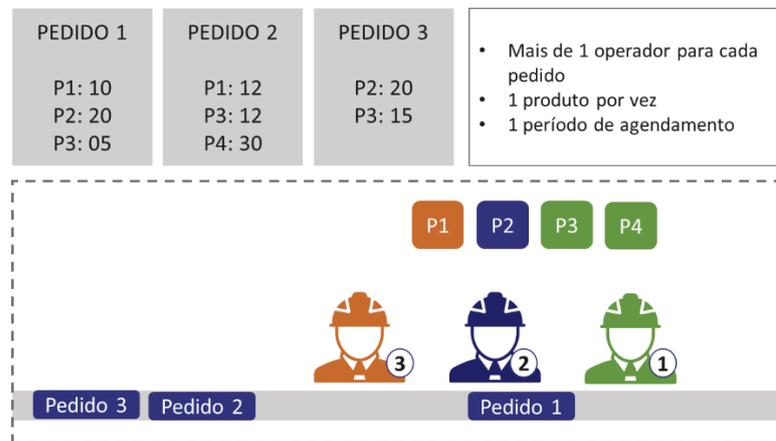
Nesta estratégia de Picking o Centro de Distribuição é dividido em diferentes zonas com separadores de pedidos específicos dedicados a cada uma delas, cada

separador fica encarregado de separar os itens endereçados na sua zona, e no final os pedidos são consolidados (RUSHTON *et al.*, 2006).

Ao pegar a Lista de Picking, o operador coleta todos os itens que estão nas zonas a qual ele fica dedicado, se o pedido estiver completo ele é encaminhado para expedição, se não é encaminhado para a próxima zona, e no final os itens são consolidados (PARIKH *et al.*, 2008).

A Figura 11 traz a representação desta estratégia de Picking, considerando a operação com três pedidos, três separadores, e quatro tipos de produtos representados por P1, P2, P3, P4.

Figura 11 - Picking por Zona



Fonte: Adaptado de Lima (2013).

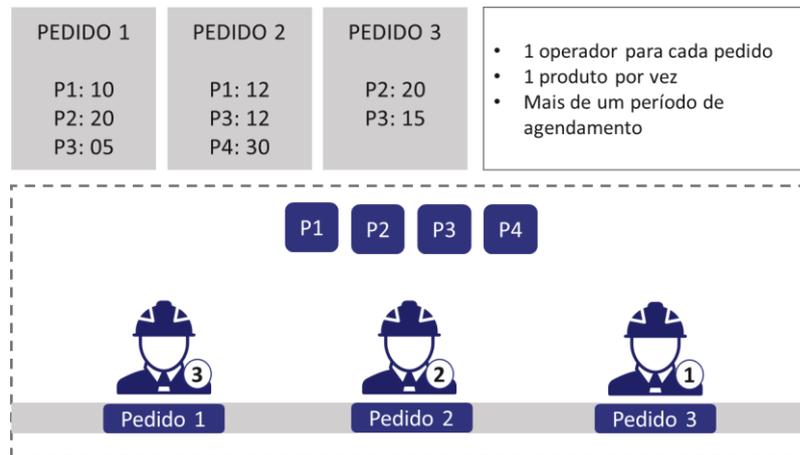
De acordo com a Figura 11, cada um dos separadores é responsável por uma zona de itens. O primeiro separador é responsável pelas zonas dos produtos 3 e 4, o segundo separados pela zona dos produtos 2 e o terceiro separador pela zona dos produtos 1.

#### 2.3.3.4 Picking por Onda

Neste tipo de picking os pedidos são liberados em ondas ao longo do dia, estas ondas podem chegar por hora ou por período, o objetivo desta estratégia é controlar o fluxo dos produtos em termos de reabastecimento, coleta, embalagem e expedição (RUSHTON *et al.*, 2006).

A Figura 12 traz a representação desta estratégia de Picking, considerando a operação com três pedidos, três separadores, e quatro tipos de produtos representados por P1, P2, P3, P4.

Figura 12 - Picking por Onda



Fonte: Adaptado de Lima (2013).

Ainda segundo Rushton *et al.* (2006), o tempo das ondas é determinado pela programação de expedição, os pedidos são liberados no tempo suficiente para o cumprimento deste cronograma. A forma de coleta é semelhante ao Picking Discreto, cada separador fica responsável por um único pedido por vez.

#### 2.3.3.5 Vantagens e Desvantagens de cada estratégia de picking

O Quadro 1 apresenta as vantagens e desvantagens de cada uma das estratégias de picking.

Quadro 1 - Vantagens e Desvantagens de cada estratégia

|                  | <b>Vantagens</b>  | <b>Desvantagens</b>   |
|------------------|---|---|
| Picking Discreto | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Estratégia simples de executar</li> <li>• Baixo risco de erros</li> <li>• Facilidade na identificação de erros e responsáveis</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pouco produtivo, em razão do tempo gasto em deslocamento ser maior</li> <li>• Risco de ter vários operadores no mesmo lugar coletando os mesmos itens</li> </ul> |
| Picking por Zona | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Estratégia produtiva, uma vez que os operadores são designados a uma zona específica possibilitando maior conhecimento</li> </ul>        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dificuldade de balancear a carga de trabalho entre as zonas</li> </ul>   |
| Picking por Lote | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Estratégia produtiva, em razão da redução de tempo em trânsito</li> <li>• Melhor aproveitamento dos recursos</li> </ul>                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Necessidade de utilizar rigorosos métodos de conferência para redução de erros</li> </ul>  |
| Picking por Onda | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Possibilidade de definir as ondas de acordo com as características dos pedidos</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pouca flexibilidade de atendimento, uma vez que os pedidos são liberados em período específico do dia</li> </ul>   |

Fonte: Adaptado de Parikh *et al.* (2008).

De acordo com o Quadro 1, cada estratégia possui suas vantagens e desvantagens, é possível observar que as estratégias que são mais produtivas também costumam apresentar uma maior chance de erro na separação dos itens, o que exige que outros procedimentos sejam executados para garantir a eficiência da operação. O capítulo a seguir aborda cada uma destas estratégias dentro do estudo de caso.

### 3. ESTUDO DE CASO

Este capítulo aborda a descrição deste estudo de caso e as principais informações sobre a empresa e sua operação logística, afim de contextualizar o problema e assegurar o entendimento do leitor acerca das operações simuladas.

#### 3.1. DESCRIÇÃO DO ESTUDO DE CASO

Conforme visto na fundamentação teórica, as principais estratégias utilizadas para a separação de materiais dentro de um Centro de Distribuição classificam-se como Picking Discreto, Picking por Lote, Picking por Zona e Picking por Onda. Como o picking por onda requer horários de liberação específicos e a operação atual não possui previsibilidade das separações a serem realizadas, optou-se por não simular este cenário, em razão de suas características não serem compatíveis com a operação logística deste estudo.

Neste contexto, este estudo de caso simula três estratégias de picking em um Centro de Distribuição de produtos alimentícios a fim de identificar qual delas é mais vantajosa para a empresa em termos qualitativos e quantitativos.

Para analisar qual estratégia de picking é ideal para a empresa foram realizadas visitas técnicas a fim de conhecer como é realizada cada uma das atividades logísticas no Centro de Distribuição, como estão distribuídas as zonas de armazenagem, de apoio e de carga e descarga, e por fim realizar o levantamento de dados necessários para a simulação.

A estratégia de Picking Discreto é o modelo atualmente utilizado pela empresa, as outras duas foram propostas pela autora com base na fundamentação teórica apresentada.

#### 3.2. A EMPRESA

A empresa deste estudo de caso é uma das empresas líderes mundiais no setor de alimentos e bebidas, possui interesse na fabricação, comercialização e distribuição de lanches à base de grãos, bebidas e outros produtos. Sua operação em território nacional engloba 15 plantas de produção e mais de 100 filiais de vendas e centros de distribuição.

### **3.2.1 Caracterização do Centro de Distribuição**

O Centro de distribuição deste estudo possui 4630m<sup>2</sup> e é subdividido em zonas, que são definidas de acordo com as operações realizadas em cada uma delas. A seguir tem-se a descrição de cada uma das zonas do Centro de Distribuição.

- Zonas de Carga e Descarga: O Centro de Distribuição possui 6 docas para as operações de carga e descarga de veículos. Em frente a cada uma das docas reserva-se uma área de 35m<sup>2</sup> para a separação e movimentação de produtos durante esta operação.
- Zona de armazenagem: A zona de armazenamento atual é constituída de box's demarcados no piso do Centro de Distribuição, possui corredores de 3 metros, tamanho definido para passagem e manobra do equipamento de movimentação utilizado, que é a empilhadeira de pedidos. A estrutura de armazenamento atualmente utilizada é paletes blocados em um nível, devido a fragilidade da carga que não permite empilhamento de paletes. Todos os produtos são armazenados em caixas e não é necessário nenhum tipo de controle de temperatura.
- Zonas de apoio: O Centro de distribuição possui 110m<sup>2</sup> de área de escritório de apoio as atividades logísticas e uma área de 210m<sup>2</sup> para a guarda de insumos e de equipamentos de movimentação ao final do expediente. Na Figura 13 tem-se uma representação do Centro de Distribuição com suas respectivas zonas.

Figura 13 - Zonas do Centro de Distribuição



Fonte: Autora (2018).

### 3.2.2. Operações realizadas no Centro de Distribuição

- Descarga: Os produtos são recebidos no Centro de Distribuição através de veículos com carga solta (com aproximadamente 1500 caixas por veículo). A operação de descarga contempla a conferência da mercadoria no mesmo momento em que ela é paletizada. A paletização é realizada por auxiliares de movimentação, que realizam esta atividade no interior do veículo, após sua finalização há a colagem da etiqueta e o deslocamento da empilhadeira para retirada do palete do caminhão em direção à zona de armazenagem.
- Processamento de pedidos: O processamento de pedidos é realizado por um setor específico, que processa os pedidos através do sistema da empresa, e fornecem ao setor de logística as Listas de Picking que contém a quantidade e endereço dos itens a serem separados.
- Picking: No processo de Picking os separadores coletam a Lista de Picking e com uma empilhadeira de pedidos percorrem o Centro de Distribuição para coletar os itens. Atualmente a equipe de picking da empresa conta com 4 colaboradores.
- Packing: Após a realização do picking as mercadorias são encaminhadas para a zona de carga e descarga, onde passam por processo de embalagem, conferência dos itens e etiquetagem, esta atividade é realizada pela equipe de carga e descarga.
- Carregamento: As mercadorias são expedidas em forma de carga solta, ou seja, as caixas são alocadas diretamente no veículo, sem paletização, isto ocorre em razão dos pedidos serem pequenos, por esta mesma razão que

cada veículo realiza a distribuição dos pedidos para diferentes clientes em uma mesma viagem.

- Armazenagem: A armazenagem é responsável pela alocação de alimentos e bebidas no Centro de Distribuição. O armazenamento de matéria prima é realizado juntamente com os produtos finais.

A Figura 14 traz um Centro de Distribuição com organização semelhante ao deste estudo de caso, uma vez que, por política da empresa, não é permitido a divulgação de imagens.

Figura 14 – Centro de Distribuição representativo

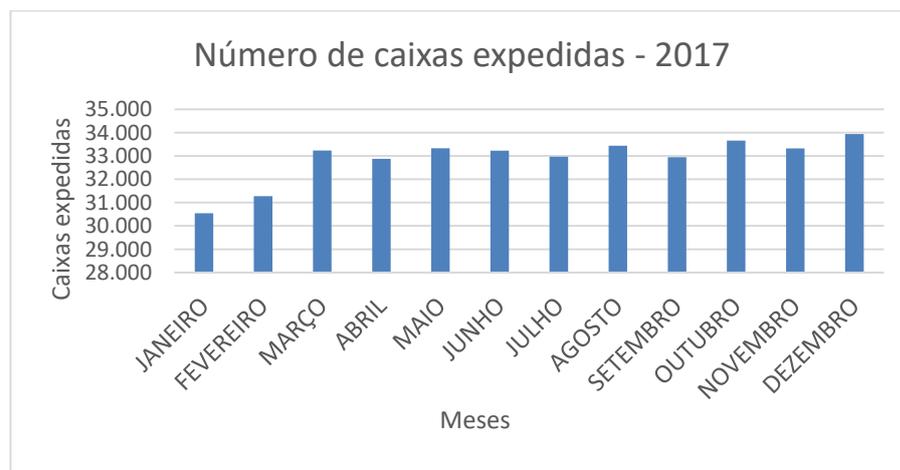


Fonte: Trianon (2018)

#### 4. COLETA E TRATAMENTO DE DADOS

Para a realização da simulação foi necessário realizar o levantamento de dados referentes à operação de picking. Os dados foram coletados através de arquivos históricos da empresa e através de uma consulta realizada com a área responsável pelo picking e pelo processamento dos pedidos. O arquivo histórico utilizado para a simulação refere-se a um mês da operação, a demanda possui pouca sazonalidade durante os meses, como é possível observar no Gráfico 2.

Gráfico 2 - Número de caixas expedidas em 2017



Fonte: Autora (2018)

De acordo com o Gráfico 2, a maior variação aconteceu entre os meses de dezembro e janeiro. A demanda mínima, média, máxima e o desvio padrão são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Variação de demanda em 2017 em caixas

| Mínimo | Máxima | Média  | Desvio Padrão |
|--------|--------|--------|---------------|
| 30.547 | 33.938 | 32.897 | 986,03        |

Fonte: Autora (2018).

Como é possível observar na tabela, o desvio padrão calculado mostra que no ano de 2017, a demanda se distanciou da média em uma taxa de 3% no número de caixas expedidas, desta forma, podemos concluir que a operação logística em questão não apresenta sazonalidade relevante.

O mês escolhido para o levantamento de informações foi o mês de agosto de 2018, período da realização deste estudo. Através de uma consulta, realizada por e-mail, foi coletado com a empresa informações a respeito do número de pedidos recebidos por dia, como é a distribuição dos mesmos dentro do setor de processamento de pedidos, e a taxa de chegada dos pedidos, de acordo com a Tabela 3.

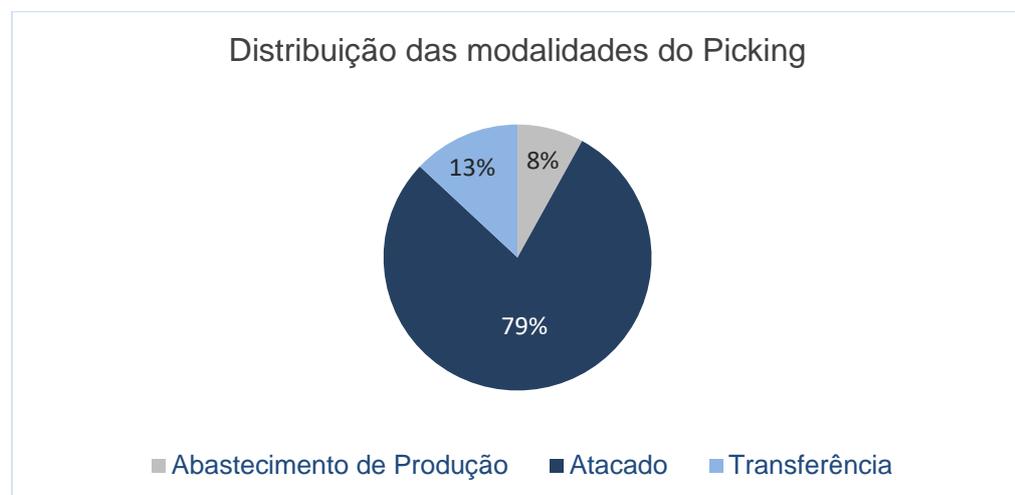
Tabela 3 - Informações coletadas através consulta

| <b>INFORMAÇÃO SOLICITADA</b> | <b>DADO</b> | <b>UNIDADE</b> |
|------------------------------|-------------|----------------|
| Volume médio expedido/mês    | 36286       | Caixas/mês     |
| Volume médio expedido/diário | 1648        | Caixas/dia     |
| Tamanho dos pedidos          | 2 a 8       | Caixas         |
| Taxa de chegada dos pedidos  | 2           | Minutos        |

Fonte: Autora (2018)

A atividade de picking dentro do Centro de Distribuição visa atender três modalidades, com distribuição representada no Gráfico 3.

Gráfico 3 - Distribuição das modalidades de Picking



Fonte: Autora (2018).

De acordo com o Gráfico 3, 79% dos pedidos de picking são destinados a modalidade de Atacado, 13% são destinados a transferência de uma unidade a outra, e 8% são destinados ao abastecimento da produção anexa ao Centro de Distribuição. Há sazonalidade destas modalidades durante o mês, sendo que na primeira parte do mês ocorrem mais pedidos para transferências e abastecimento de produção, e na segunda parte do mês ocorrem mais pedidos para a modalidade do atacado, porém, levando em consideração apenas o número de pedidos durante o mês a demanda da atividade de picking é constante.

Em razão do Centro de Distribuição atender a grandes redes de supermercados, um mesmo cliente pode possuir diversos pedidos no mesmo dia, porém, como estes pedidos possuem destinos diferentes, ou exigem datas de entregas diferentes, são processados de forma separada.

Além dos dados obtidos através de questionário, também foram levantados dados históricos da empresa, referentes a duração das atividades do picking, como o atendimento, a conferência e a separação de um novo item. Para este levantamento foi considerado uma amostra do total de pedidos do mês de estudo, calculada através de um nível de confiança de 90% e margem de erro de 5% para cada uma das atividades, resultando em uma amostra de 253 pedidos. Os dados referentes a esta amostra são descritos e analisados no tópico na sequência.

#### 4.1 ANÁLISE DE DADOS

Segundo Freitas Filho (2008), para identificar que os dados de uma amostra aderem a uma determinada distribuição é preciso realizar testes de aderência, dois dos principais testes de aderência conhecidos são o teste *Qui-quadrado* e o teste Kolmogorov – Smirnov, ambos os testes procuram medir e avaliar os desvios entre a distribuição teórica e a distribuição amostral.

Através de uma ferramenta do software Arena®, chamada *Input Analyzer* é possível identificar a melhor distribuição de probabilidade por meio de testes de aderência realizados de forma automática, utilizando, para isto uma amostra de dados coletados no sistema real (FREITAS FILHO, 2008).

Ainda para Freitas Filho (2008) um dos indicadores principais que indicam a qualidade do ajuste da curva a uma distribuição de probabilidade é o “*Square Error*”, que representa o quadrado das diferenças entre as frequências relativas observadas

e as frequências relativas esperadas, quanto menor o valor, melhor é o ajuste. O *Square Error* pode ser representado pela Equação 1.

$$\text{Square Error} = \sum_{i=1}^k (f_i - f(x_i))^2 \quad (1)$$

Além do *Square Error*, é necessário também a análise do resultado do teste *Qui-quadrado* e o teste Kolmogorov – Smirnov, o resultado destes testes pode ser avaliado através de um índice de qualidade do *Input Analyzer*, o *Corresponding p-value*, que representa a probabilidade de significância da distribuição obtida, desta forma, quanto maior o *p-value*, melhor a aderência, sendo que apenas *p-values* com valores maiores de 0,10 podem ser considerados confiáveis (FREITAS FILHO, 2008).

A Tabela 4 lista o conjunto de atividades que precisaram ser analisadas para a simulação, a quantidade de dados levantados para cada uma delas, a distribuição e expressão que melhor as representa, o *Square Error* de cada uma, e por fim, os correspondentes *p-value* do teste *Qui-quadrado* ( $\chi^2$ ) e o do teste Kolmogorov – Smirnov (K – S).

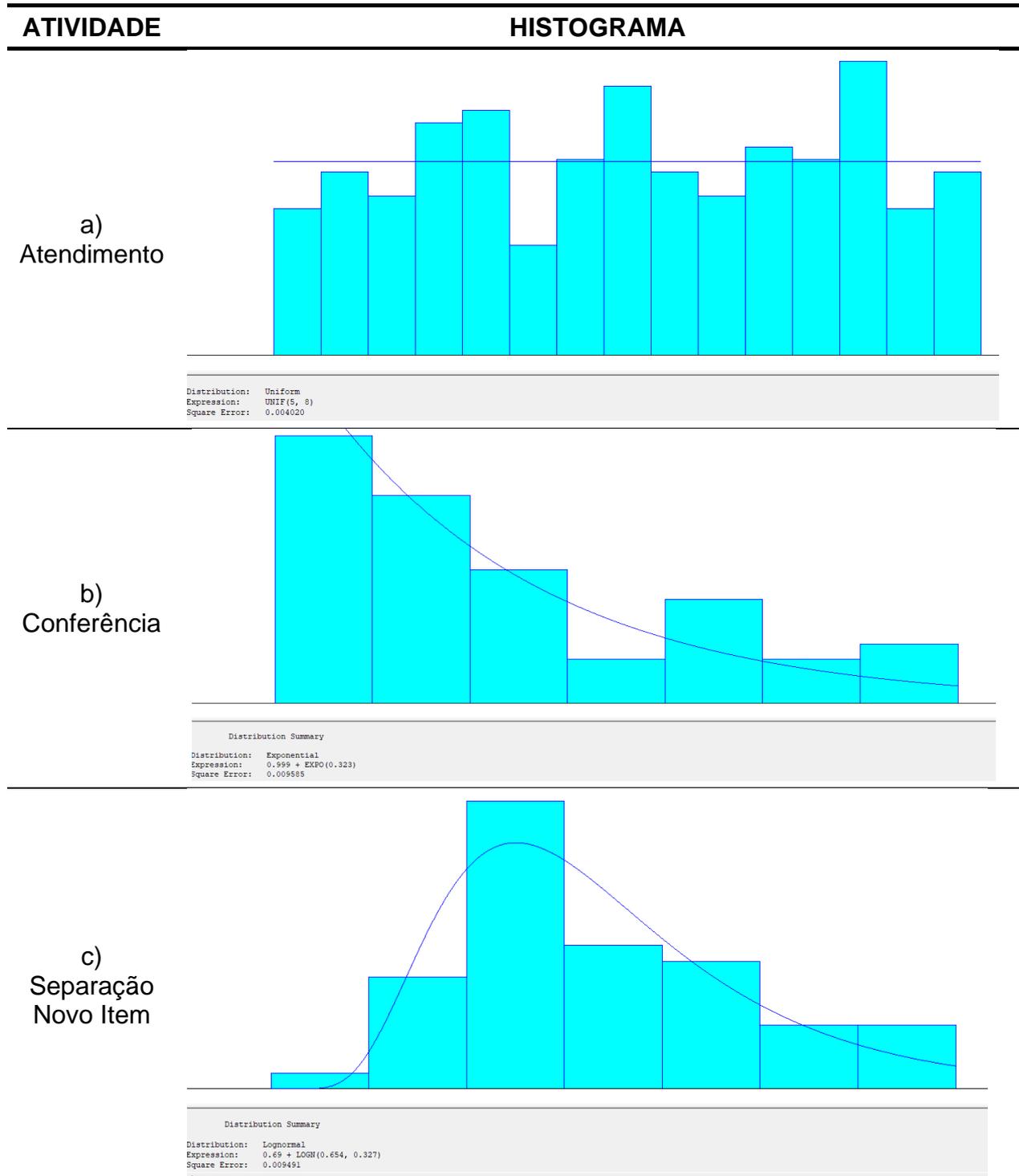
Tabela 4 - Resultado da coleta de dados

| ATIVIDADE           | Nº DE DADOS | DISTRIBUIÇÃO | EXPRESSÃO              | SQUARE ERROR | P-VALUE ( $\chi^2$ ) | P-VALUE (K-S) |
|---------------------|-------------|--------------|------------------------|--------------|----------------------|---------------|
| Atendimento         | 253         | Uniforme     | UNIF (5,8)             | 0.004020     | 0.433                | >0,15         |
| Conferência         | 253         | Exponencial  | 0.999 +<br>EXPO(0.323) | 0.009585     | 0.429                | 0,124         |
| Separação Novo Item | 117         | LogNormal    | 0.69 +<br>LOGN(0.654,  | 0.009491     | 0.347                | >0,15         |

Fonte: Autora (2018).

De acordo com a Tabela 4, todas as atividades realizadas resultaram em distribuições com erros aceitáveis, o que indica que a distribuição possui aderência a amostra utilizada. Na Figura 15, apresenta-se os histogramas de cada uma das atividades.

Figura 15 - Histograma das atividades



Fonte: Autora (2018).

Calculadas as distribuições de probabilidade de cada etapa e verificada a aderência da amostra, a próxima etapa refere-se ao desenvolvimento dos modelos de simulação, que são apresentados no capítulo a seguir.

## 5. DESENVOLVIMENTO DOS MODELOS

Este capítulo apresenta cada um dos cenários a serem simulados, traz a representação esquemática dos modelos simulados no Arena®, o descritivo de cada um dos módulos e os resultados dos cenários.

### 5.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE A SIMULAÇÃO

Antes da análise dos resultados é necessário a definição do número de replicações do modelo, afim de garantir que os resultados gerados pela simulação sejam confiáveis. De acordo com Freitas Filho (2008) para definir o número de replicações é necessário primeiramente escolher uma variável de resposta, neste caso será considerado como variável o tempo médio que os pedidos ficaram no sistema, desta forma, foi utilizada uma amostra piloto com 10 replicações para obter a média e o desvio padrão.

Também é necessário definir a precisão que se espera da média da variável através de um nível de confiança, neste caso, considerou-se a precisão de 1 minuto com um nível de confiança de 99%. Após estas definições utilizou-se a fórmula abaixo para calcular o número de replicações:

$$n = \left( \frac{100 \cdot t \cdot s}{r \cdot x} \right)^2 \quad (2)$$

$n$ : Número de replicações

$t$ : Definido pela distribuição t de Student, com  $(n - 1) = 9$  graus de liberdade

$s$ : Desvio padrão

$x$ : Média do tempo que os pedidos ficaram no sistema

$r$ : Precisão esperada pelo modelo

Na formulação descrita o valor de  $r$  é requerido na forma de percentagem da média utilizada logo, é necessário utilizar a fórmula abaixo para obter o valor desejado:

$$r = \left( \frac{\text{precisão desejada}}{\text{valor da média}} \right) * 100 \quad (3)$$

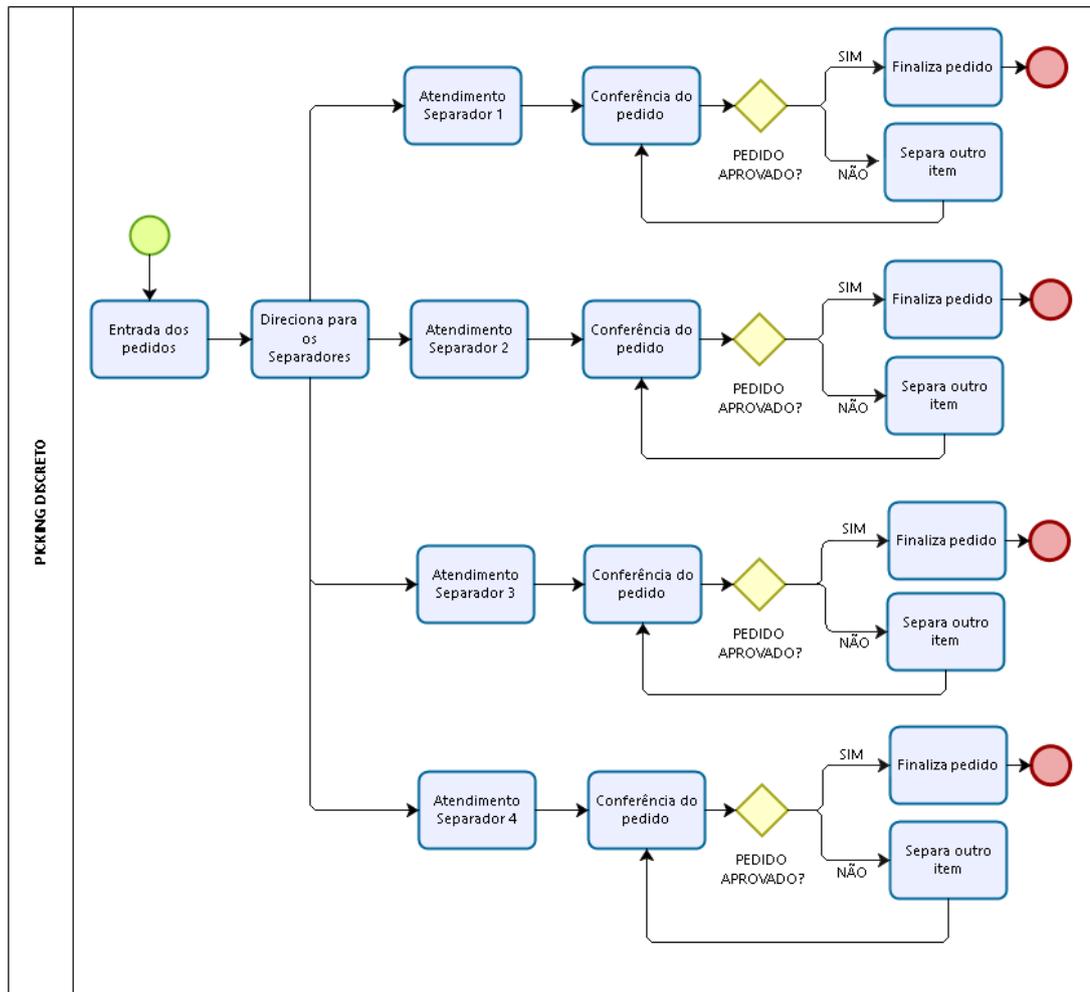
Desta forma, após calcular o valor de  $r$  já temos todos os dados para aplicar a fórmula e obter o número de replicações. Realizado o cálculo, temos que o número de replicações necessárias é 7,58 para o modelo simulado, este número de replicações é o mínimo exigido para a simulação ocorrer de acordo com a confiança requerida. Para garantir um menor erro experimental, optou-se por aumentar esse número de replicações para 1000.

Para definir o tempo de simulação é preciso preencher o parâmetro chamado *Length of Replication*, neste estudo foram utilizadas seis horas e meia, o que é equivalente a um dia de trabalho da operação de picking, o restante do tempo da jornada de oito horas diárias é utilizado para realização de inventário e para preparação e guarda dos materiais e equipamentos utilizados no picking que acontece todo início e final da jornada. Além destas atividades, há uma improdutividade por parte aceitável por parte dos colaboradores, que é de no máximo 20%, referente aos intervalos destinados a alimentação.

## 5.2 CENÁRIO 1: PICKING DISCRETO

O Cenário 1 refere-se ao modelo atualmente utilizado pela empresa, seguindo a estratégia de picking discreto, onde cada separador seleciona um pedido por vez e se torna responsável por coletar todos os itens daquele pedido. Na Figura 16 tem-se a representação deste cenário de acordo com o modelo no Arena®.

Figura 16- Picking Discreto



Fonte: Autora (2018).

O processo de picking discreto realizado pela empresa também pode ser descrito da seguinte forma:

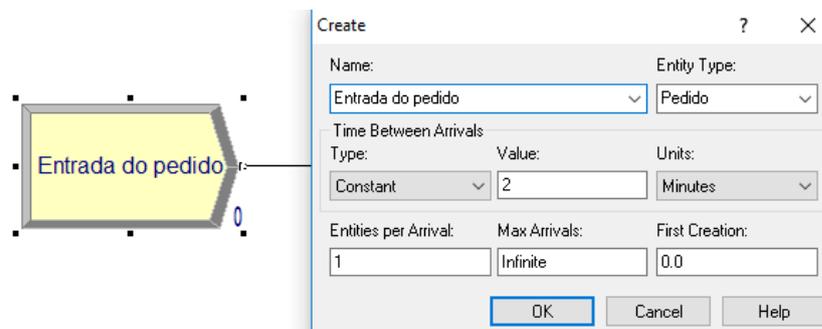
- As listas de picking são enviadas pelo setor de processamento de pedidos ao líder de logística, que as direciona para os separadores.
- Ao coletar este documento o separador deve efetuar a separação do pedido por completo e realizar a conferência.
- Se a conferência for aprovada o separador pode finalizar o processo e encaminhar o pedido para área de embalagem.
- Se não, deve realizar a separação de um novo item, se isto for necessário, por exigência da empresa, o separador deverá realizar a conferência de todo pedido novamente, até não encontrar erros.
- O separador finaliza este processo e inicia um novo picking.

### 5.2.1 Modelagem

Para a modelagem deste primeiro cenário utilizou-se os dados coletados do sistema real. As distribuições de probabilidade utilizadas no processo foram as mesmas para os quatro separadores em cada módulo, em razão de todos desempenharem as mesmas atividades nas mesmas médias de tempos. A seguir descreve-se cada um dos módulos utilizados no modelo.

1. O módulo *Create* é o responsável pela entrada dos pedidos no sistema, este módulo é executado pelo setor de processamento de pedidos, segue uma distribuição constante, com taxa de 2 minutos, conforme Figura 17.

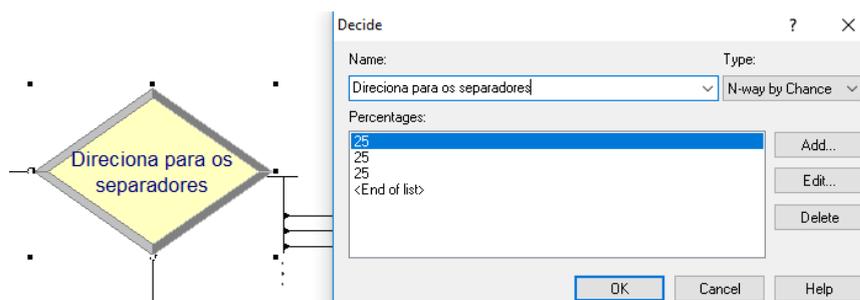
Figura 17 - Entrada dos pedidos (Cenário 1)



Fonte: Autora (2018).

2. O módulo *Decide* é o responsável por direcionar os pedidos aos separadores, este módulo efetua a distribuição dos pedidos de maneira igualitária entre os quatro separadores, sendo 25% para cada um. Utilizou-se a opção *N-way By chance* para possibilitar a distribuição entre os quatro.

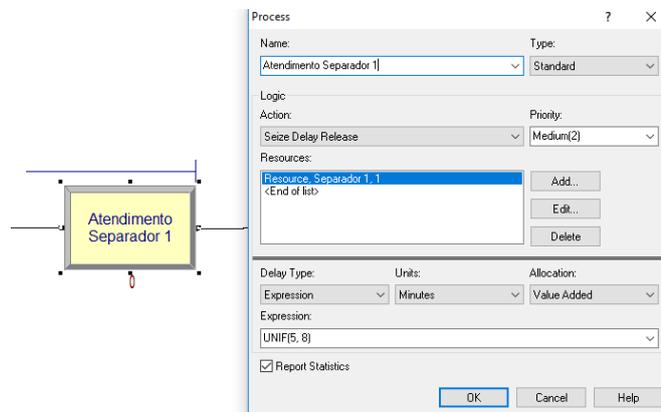
Figura 18 - Direcionamento dos pedidos (Cenário 1)



Fonte: Autora (2018).

3. O módulo *Process* representa o atendimento dos pedidos para cada um dos quatro separadores, todos os módulos de Atendimento são alimentados da mesma forma, seguindo uma distribuição uniforme. Na opção *Resource* declaramos o nosso recurso, que são os separadores. E por fim definimos a ação *Seize Delay Release*, que significa que o recurso será alocado, haverá um intervalo de tempo correspondente ao atendimento e em seguida o recurso será liberado, conforme apresentado na Figura 19.

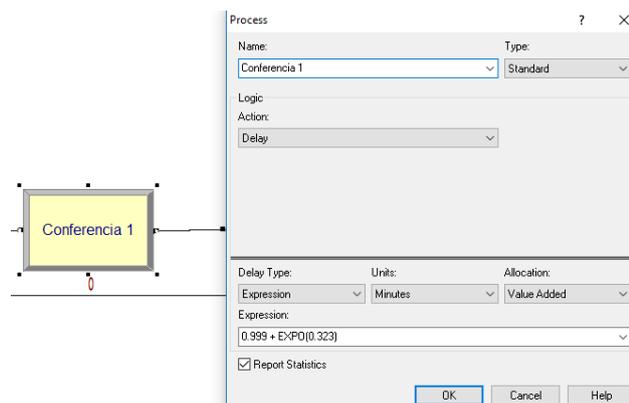
Figura 19 - Atendimento (Cenário 1)



Fonte: Autora (2018).

4. O quarto módulo é o *Process* responsável pela Conferência dos pedidos, da mesma maneira que o módulo responsável pelo Atendimento, este módulo também é alimentado da mesma forma para os quatro separadores, possui uma distribuição exponencial, e uma ação *Delay*, que corresponde ao tempo gasto com a conferência.

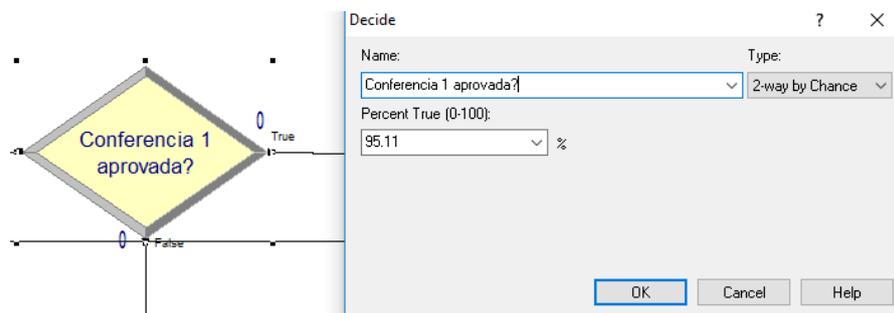
Figura 20 - Conferência (Cenário 1)



Fonte: Autora (2018).

5. O quinto módulo é o *Decide*, responsável por representar a decisão do processo em relação a conferência dos itens, segundo dado informado pela empresa 95,11% dos pedidos são aprovados na primeira conferência e o processo pode ser finalizado, para os pedidos não aprovados é necessária a separação ou troca de um outro item. Este módulo também é alimentado da mesma forma para cada um dos separadores.

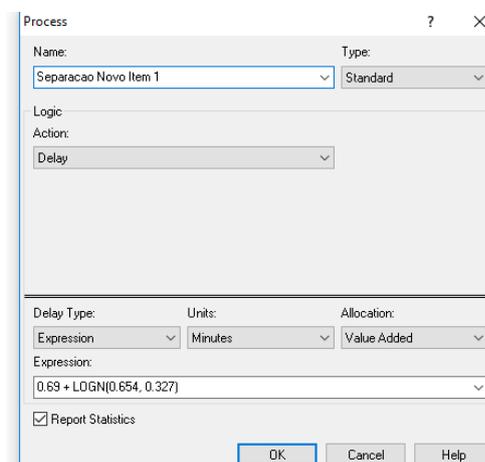
Figura 21 - Análise da Conferência (Cenário 1)



Fonte: Autora (2018).

6. O sexto módulo é um módulo *Process*, corresponde a separação de um novo item, este módulo é executado apenas para a porcentagem de pedidos que foram reprovados no processo de conferência, possui uma distribuição LogNormal, e uma ação *Delay*, que se refere ao tempo gasto em executar o processo de separar ou trocar um item, após está etapa o pedido deve passar novamente pelo processo de conferência e assim ser finalizado.

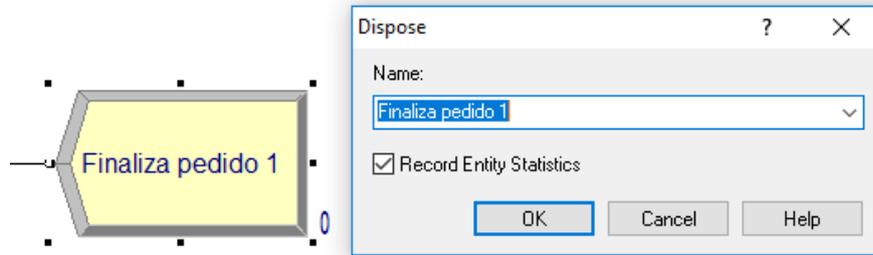
Figura 22 - Separação de um Novo item (Cenário 1)



Fonte: Autora (2018).

7. O último módulo a ser executado é o *Dispose*, que serve para representar o encerramento do processo de picking para cada um dos separadores.

Figura 23 - Encerramento do processo (Cenário 1)



Fonte: Autora (2018).

### 5.2.2 Análise dos resultados do Cenário 1

Antes de analisar os resultados de um modelo de simulação é necessário validar o modelo para o cenário real. Para Freitas Filho (2008) a validade de um modelo de simulação é medida pela proximidade dos resultados do modelo com os resultados do sistema real.

A avaliação dos modelos por especialistas é considerada a melhor e mais simples forma de validá-los (FREITAS FILHO, 2008). A técnica empregada para a validação foi a chamada “*Brainstorming Meeting*”, onde foram realizadas reuniões com elementos que possuam conhecimento no sistema e que são aptos a dar suas opiniões. Nestas reuniões os parâmetros de entrada, juntamente com o modelo, foram discutidos e validados, os resultados foram examinados e comparado com os dados provenientes do modelo real, sendo considerados válidos pelos especialistas consultados.

Para analisar os resultados de uma simulação no software Arena®, também é necessário definir quais estatísticas queremos avaliar, estas estatísticas serão utilizadas para verificar a viabilidade de modificação de cada estratégia de picking simulada. Desta forma, as estatísticas foram coletadas nos seguintes campos: entidades, filas, recursos e processos.

Para justificar uma possível modificação de estratégia de picking é necessário possuir as estatísticas do cenário atual, para que seja possível realizar uma análise comparativa entre as opções existentes. A Tabela 5 apresenta as estatísticas para o primeiro campo analisado.

Tabela 5 - Número de entidades que entraram e saíram do sistema

| <b>Entidades que entraram</b> | <b>Entidades que saíram</b> |
|-------------------------------|-----------------------------|
| 206                           | 194                         |

Fonte: Autora (2018).

De acordo com a tabela entraram no sistema um total de 206 pedidos nas 6,5h de trabalho simuladas, mas foram processados apenas 194. Os pedidos não processados na jornada diária são normalmente atendidos através de horas extras, que acarreta um custo para a empresa, dificilmente são remanejados para o dia seguinte.

A segunda análise a ser feita é da ocupação de cada recurso, ou seja, de cada um dos quatro separadores disponíveis.

Tabela 6 - Utilização de cada recurso

| <b>Separador</b> | <b>Nº de recursos</b> | <b>Nº de atendimentos</b> | <b>Taxa de ocupação (%)</b> |
|------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------------|
| Separador 1      | 1                     | 59                        | 88%                         |
| Separador 2      | 1                     | 58                        | 72%                         |
| Separador 3      | 1                     | 61                        | 93%                         |
| Separador 4      | 1                     | 55                        | 71%                         |

Fonte: Autora (2018).

É possível observar na Tabela 6, que a maior taxa de ocupação dos separadores é do Separador 3 com 93%, que é considerado um alto índice, uma vez que os indicadores de produtividade da empresa apresentam valores de 80% a 85%.

Embora a taxa de entrada dos pedidos tenha sido distribuída igualmente para cada separador é possível observar pequenas divergências na taxa de ocupação de cada um, mas que não impacta significativamente no cenário.

A Tabela 7 traz a análise das filas do processo, que é referente ao número de pedidos que esperam para o atendimento para cada um dos quatro separadores.

Tabela 7 - Tamanho médio de filas para cada separador (Atendimento)

| <b>Separador</b> | <b>Tamanho médio da fila<br/>(pedidos)</b> |
|------------------|--|
| Separador 1      | 2,57                                       |
| Separador 2      | 0,56                                       |
| Separador 3      | 2,01                                       |
| Separador 4      | 0,60                                       |

Fonte: Autora (2018).

Neste cenário, a existência de filas ocorreu apenas para a etapa de Atendimento, onde é possível observar o maior gargalo para o Separador 1, seguido do Separador 3.

A Tabela 8 traz os tempos médios de cada processo para cada um dos separadores, incluindo o tempo de espera para início do processo juntamente com o tempo necessário para sua execução.

Tabela 8 - Tempos médios de cada processo

| <b>Processo</b>        | <b>Separadores</b> | <b>Tempo do processo<br/>(min)</b> | <b>Tempo de espera<br/>para o processo<br/>(min)</b> | <b>Tempo<br/>total gasto<br/>(min)</b> |
|------------------------|--------------------|------------------------------------|--|--|
| Atendimento            | Separador 1        | 6,34                               | 16,53  | 22,87                                  |
|                        | Separador 2        | 6,55                               | 6,04   | 11,58                                  |
|                        | Separador 3        | 6,51                               | 14,26  | 20,78                                  |
|                        | Separador 4        | 6,45                               | 4,98   | 11,42                                  |
| Conferência            | Separador 1        | 1,48                               | 0  | 1,48                                   |
|                        | Separador 2        | 1,35                               | 0  | 1,35                                   |
|                        | Separador 3        | 1,35                               | 0  | 1,35                                   |
|                        | Separador 4        | 1,29                               | 0  | 1,29                                   |
| Separação<br>Novo Item | Separador 1        | 1,31                               | 0  | 1,31                                   |
|                        | Separador 2        | 0,00                               | 0  | 0,00                                   |
|                        | Separador 3        | 1,25                               | 0  | 1,25                                   |
|                        | Separador 4        | 0,00                               | 0  | 0,00                                   |

Fonte: Autora (2018).

Os tempos destinados a cada processo estão de acordo com os dados da amostra coletada com a empresa, por esta razão já era esperado que o processo de Atendimento seja o mais demorado em relação aos demais.

O tempo de espera para o processo, conhecido também como tempo de fila mostrou-se bastante alto, principalmente para os Separadores 1 e 3, se analisarmos o processo de Separação de Novo Item podemos observar que estes mesmos separadores sofreram atrasos em razão deste processo, ou seja, seus pedidos apresentaram algum erro na conferência, como por exemplo, erro na quantidade ou no tipo de produto separado, o que os fez executar mais etapas até finalizar o pedido.

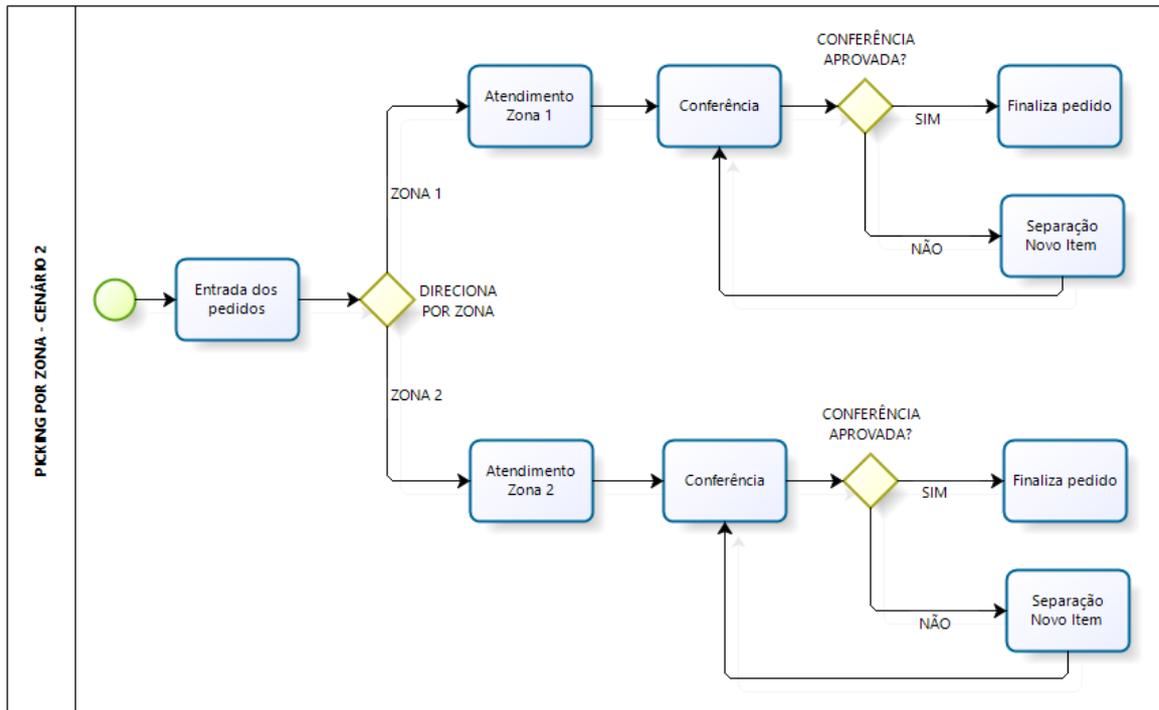
Da mesma maneira que na Tabela 7, é possível observar que o único processo que possui filas é o processo de Atendimento. Os dados resultantes desta estratégia foram utilizados para a validação do modelo, e se mostraram coerentes com o sistema real. No tópico a seguir será apresentado o primeiro cenário proposto por este estudo.

### 5.3 CENÁRIO 2 - PICKING EM ZONA

O Cenário 2 trata-se de um cenário proposto neste estudo, que emprega a estratégia de picking em zona, onde cada separador é responsável por separar os itens que estão armazenados em uma zona de sua responsabilidade.

Segundo o histórico de vendas da empresa, em média 58% dos produtos expedidos correspondem a alimentos e 42% a bebidas. Desta forma, optou-se por dedicar dois separadores para cada uma das zonas. A Figura 24 apresenta de maneira esquemática a modelagem do sistema que foi utilizada no Arena® para este cenário.

Figura 24 - Picking por Zona



Fonte: Autora (2018).

O cenário proposto de picking por zona também pode ser descrito da seguinte forma:

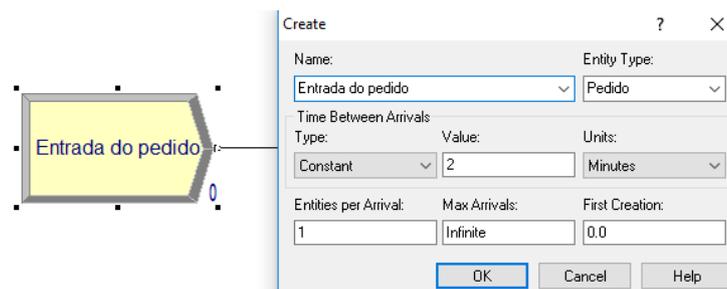
- As listas de picking são enviadas pelo setor de processamento de pedidos ao líder de logística, cada lista deve possuir itens da mesma zona.
- O líder de logística direciona as listas de acordo com cada zona.
- Cada separador coleta os itens correspondentes a sua zona de atuação e realiza a conferência.
- Se a conferência for aprovada o separador pode finalizar o processo e encaminhar o pedido para área de embalagem.
- Se não, deve realizar a separação de um novo item, se isto for necessário, por exigência da empresa, o separador deverá realizar a conferência de todo pedido novamente, até não encontrar erros.
- O separador finaliza este processo e inicia um novo picking.
- A consolidação do pedido na embalagem é de responsabilidade da equipe de embalagem.

### 5.3.1 Modelagem

Para a modelagem do cenário proposto foi necessário obter estimativas de alguns parâmetros do processo com base na fundamentação teórica. A alteração dos dados foi executada apenas para os processos que sofreram mudança, neste caso, a distribuição dos pedidos e o processo de atendimento. A seguir descreve-se cada um dos módulos utilizados no modelo.

1. O módulo *Create* é o responsável pela entrada dos pedidos no sistema, este módulo é executado pelo setor de processamento de pedidos e possui a mesma distribuição do modelo anterior, distribuição constante, com taxa de 2 minutos.

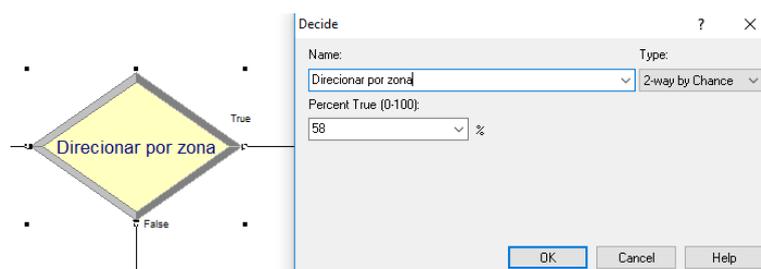
Figura 25 - Entrada do pedido (Cenário 2)



Fonte: Autora (2018).

2. O módulo *Decide* é o responsável por direcionar os pedidos para cada uma das zonas, sendo 58% direcionados para a zona 1, que seria a zona de alimentos e 42% direcionados para a zona 2 que seria a zona de bebidas. Utilizou-se a opção *2-way By chance* visto que temos apenas duas opções de zona.

Figura 26 - Direcionamento dos pedidos (Cenário 2)



Fonte: Autora (2018).

3. O módulo *Process* representa o atendimento dos pedidos para cada uma das zonas. Definimos a ação *Seize Delay Release*, que significa que o recurso será alocado, haverá um intervalo de tempo correspondente ao atendimento e em seguida o recurso será liberado. Na opção *Resource* na área do *Basic Process* declaramos a capacidade para cada zona, que equivale a alocação de dois recursos para cada uma, conforme apresentado na Figura 27.

Figura 27 - Recursos do cenário proposto

| Resource - Basic Process |      |                |          |             |             |         |               |          |                                     |
|--------------------------|------|----------------|----------|-------------|-------------|---------|---------------|----------|-------------------------------------|
|                          | Name | Type           | Capacity | Busy / Hour | Idle / Hour | Per Use | StateSet Name | Failures | Report Statistics                   |
| 1                        | Z1   | Fixed Capacity | 2        | 0.0         | 0.0         | 0.0     |               | 0 rows   | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 2                        | Z2   | Fixed Capacity | 2        | 0.0         | 0.0         | 0.0     |               | 0 rows   | <input checked="" type="checkbox"/> |

Fonte: Autora (2018).

De acordo com Fernandes (2017), cerca de 50% do tempo de picking corresponde ao tempo gasto com os deslocamentos, e outros 50% do tempo é dedicado a separação dos itens de fato.

Sabe-se que o Atendimento do cenário atual segue uma distribuição uniforme, com valor mínimo de 5,0 minutos e valor máximo de 7,9 minutos, considerando a citação e Fernandes (2017), 50% do tempo de separação sofrerá uma redução, que será proporcional ao tamanho de cada zona.

Considerando o dado informado pela empresa, de que 58% dos pedidos correspondem a Zona 1 e 42% correspondem a Zona 2, utilizaremos esta mesma proporção para definir o tamanho da zona. Desta forma, os separadores dedicados a Zona 1 serão responsáveis por 58% da área de armazenagem, e os separadores dedicados a Zona 2 serão responsáveis por 42% da área.

A redução do tempo de deslocamento para a Zona 1, e os resultados dos tempos de atendimento podem ser observados na Tabela 9 abaixo:

Tabela 9 - Tempos de atendimento para a Zona 1 em minutos

| TEMPO  | TEMPO CENÁRIO 1 |           |              | TEMPO CENÁRIO 2 |           |              |
|--------|-----------------|-----------|--------------|-----------------|-----------|--------------|
|        | Total           | Separação | Deslocamento | Total           | Separação | Deslocamento |
| Máximo | <b>7,9</b>      | 3,95      | 3,95         | <b>6,24</b>     | 3,95      | 2,29         |
| Mínimo | <b>5,0</b>      | 2,5       | 2,5          | <b>3,96</b>     | 2,5       | 1,45         |

Fonte: Autora (2018).

Para a Zona 2, a redução do tempo de deslocamento também ocorre proporcionalmente ao tamanho da zona, conforme é possível observar na Tabela 10:

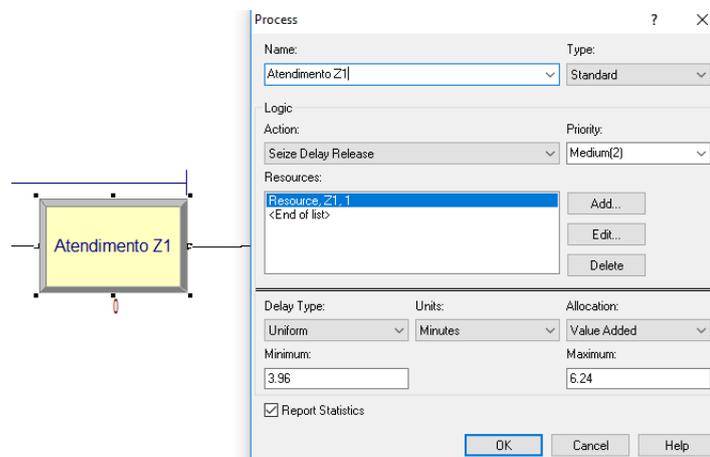
Tabela 10 - Tempos de atendimento para a Zona 2 em minutos

| TEMPO  | TEMPO CENÁRIO 1 |           |              | TEMPO CENÁRIO 2 |           |              |
|--------|-----------------|-----------|--------------|-----------------|-----------|--------------|
|        | Total           | Separação | Deslocamento | Total           | Separação | Deslocamento |
| Máximo | <b>7,9</b>      | 3,95      | 3,95         | <b>5,61</b>     | 3,95      | 1,66         |
| Mínimo | <b>5,0</b>      | 2,5       | 2,5          | <b>3,55</b>     | 2,5       | 1,05         |

Fonte: Autora (2018).

Assim como o Atendimento do Cenário 1, este módulo continua seguindo uma distribuição uniforme, mas desta vez com os tempos de atendimentos calculados acima, é possível observar os dados implantados no módulo na Figura 28:

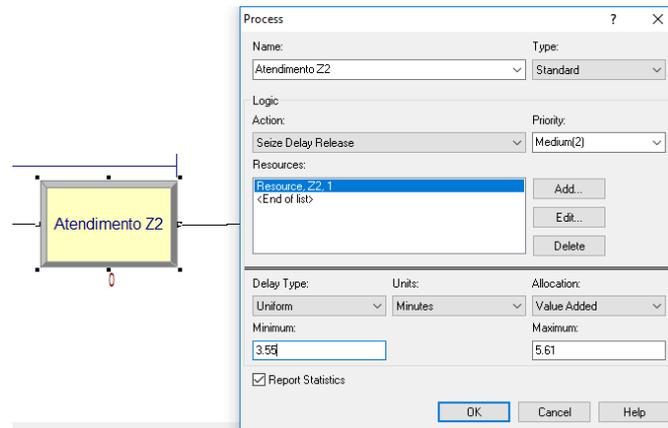
Figura 28 - Atendimento Zona 1 (Cenário 2)



Fonte: Autora (2018).

Para o Atendimento da Zona 2, considera-se o mesmo tipo de distribuição, e com os novos tempos de atendimento calculados, de acordo com a Figura 29:

Figura 29 - Atendimento Zona 2 (Cenário 2)



Fonte: Autora (2018).

4. O módulo *Process*, responsável pela conferência dos Itens, o módulo *Decide* responsável pela aprovação da conferência, o módulo *Process* responsável pela Separação do Novo Item, e o módulo *Dispose* responsável pelo encerramento do processo, seguem distribuição e parâmetros idênticos aos do Cenário 1, uma vez que não sofrem alteração na mudança de estratégia.

### 5.3.2 Análise dos resultados do Cenário 2

Este tópico traz os resultados do primeiro cenário proposto neste estudo, que serão utilizados para analisar a viabilidade desta modificação de estratégia. A Tabela 11 apresenta o número de entidades que entraram e saíram do sistema para este cenário.

Tabela 11 - Número de entidades que entraram e saíram do sistema

| Entidades que entraram | Entidades que saíram |
|------------------------|----------------------|
| 206                    | 199                  |

Fonte: Autora (2018).

O número de entidades que entram no sistema permanece o mesmo para cada cenário, uma vez que a taxa de chegada não sofre nenhuma modificação com a mudança de estratégia, neste cenário temos 7 pedidos que não foram processados a

tempo na simulação. A Tabela 12 traz a taxa de ocupação dos recursos disponíveis em cada zona e o número de atendimentos referentes aos valores totais por zona.

Tabela 12 - Utilização de cada recurso

| <b>Zonas</b> | <b>Nº de recursos</b> | <b>Nº de atendimentos</b> | <b>Taxa de ocupação (%)</b> |
|--------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------------|
| Zona 1       | 2                     | 131                       | 81%                         |
| Zona 2       | 2                     | 86                        | 49%                         |

Fonte: Autora (2018).

A taxa de ocupação dos recursos para cada uma das zonas mostrou-se satisfatória para a Zona 1 e demonstrou uma relevante ociosidade para a Zona 2, isto ocorre em razão da maior parte dos pedidos serem destinados a Zona 1, e também em razão do tamanho desta zona ser maior, o que acarreta em um maior tempo de deslocamento e finalização de pedidos. A Tabela 13 traz o tamanho médio das filas geradas para cada zona.

Tabela 13 - Tamanho médio de filas para cada zona

| <b>Processo</b> | <b>Zonas</b> | <b>Tamanho médio da fila (pedidos)</b> |
|-----------------|--------------|--|
| Atendimento     | Zona 1       | 0,46                                   |
|                 | Zona 2       | 0,04                                   |

Fonte: Autora (2018).

De acordo com os valores apresentados, a Zona 1 possui uma pequena geração de fila no processo de Atendimento, na Tabela 14 será possível observar os tempos gastos com estas filas.

Tabela 14 - Tempos médios de cada processo

| <b>Processo</b>     | <b>Separadores</b> | <b>Tempo do processo (min)</b> | <b>Tempo de espera para o processo (min)</b> | <b>Tempo total gasto (min)</b> |
|---------------------|--------------------|--------------------------------|--|--------------------------------|
| Atendimento         | Zona 1             | 5,07                           | 1,45   | 6,51                           |
|                     | Zona 2             | 4,62                           | 0,19   | 4,81                           |
| Conferência         | Zona 1             | 1,31                           | 0,00   | 1,31                           |
|                     | Zona 2             | 1,33                           | 0,00   | 1,33                           |
| Separação Novo item | Zona 1             | 1,50                           | 0,00   | 1,50                           |
|                     | Zona 2             | 1,22                           | 0,00   | 1,22                           |

Fonte: Autora (2018).

É possível afirmar que a diferença no tempo total gasto no Atendimento da Zona 1 em comparação com a Zona 2 se dá em razão do tempo de espera, uma vez que o tempo dos processos não possui muita variação. Podemos observar que não houve formação de filas para o processo de Conferência e Separação do Novo Item. No tópico seguinte será apresentado o segundo cenário proposto neste estudo

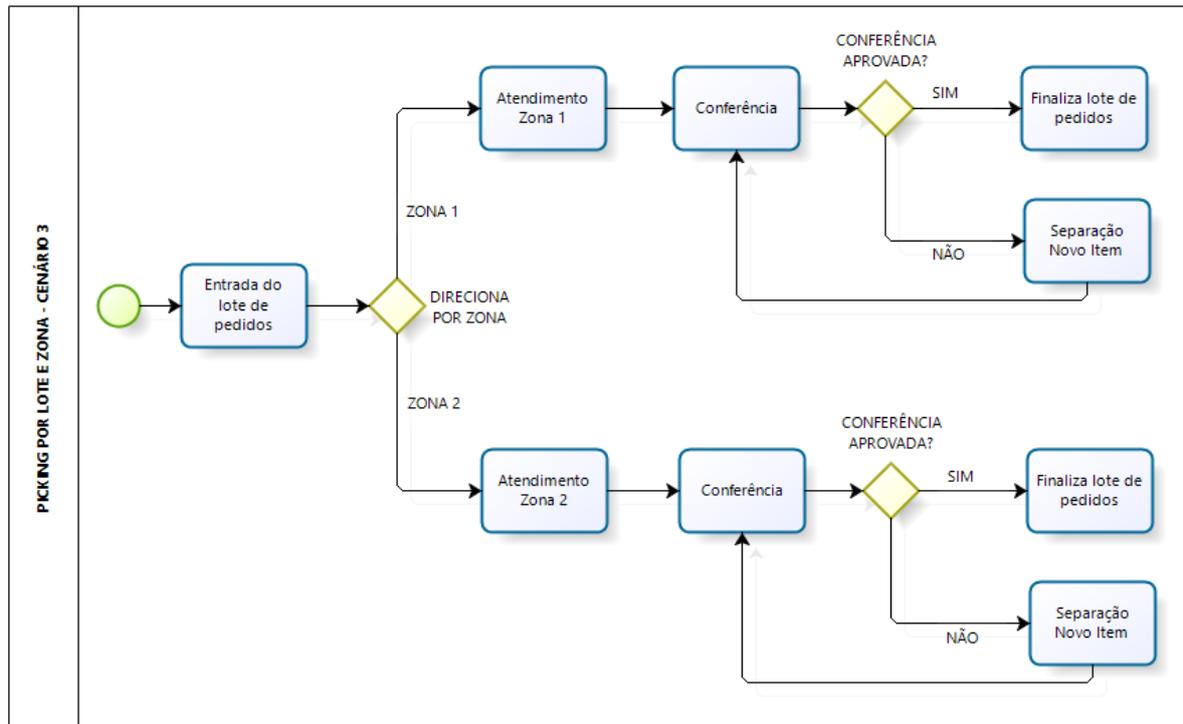
#### 5.4 CENÁRIO 3: PICKING POR LOTE/ZONA

O terceiro cenário contempla a aplicação do picking por lote e zona, que estabelece que o separador acumule uma certa quantidade de pedidos com características em comum, para assim iniciar a separação de maneira conjunta.

Um dos critérios para tornar viável a utilização da estratégia de picking por lote é a proximidade dos endereços dos itens, o que permite realizar o agrupamento dos pedidos. Outro fator determinante para a viabilidade desta estratégia é o número de itens de cada pedido, assim como seu volume, que serão limitados pela capacidade do equipamento de movimentação utilizado para realizar o picking.

Buscando propor um cenário viável para a empresa e considerando os dois critérios de viabilidade descritos anteriormente, a estratégia de picking por lote será simulada juntamente com a estratégia de picking por zona, com o objetivo de garantir a proximidade das coletas por separador e possibilitar o uso do equipamento de movimentação para mais de um pedido, visto que no picking por zona há o fracionamento dos pedidos para separadores distintos. Na Figura 30, tem-se a representação deste cenário de acordo com o modelo no Arena ®.

Figura 30 - Picking por lote/zona



Fonte: Autora (2018).

A estratégia de picking por lote e zona pode ser descrita da seguinte maneira:

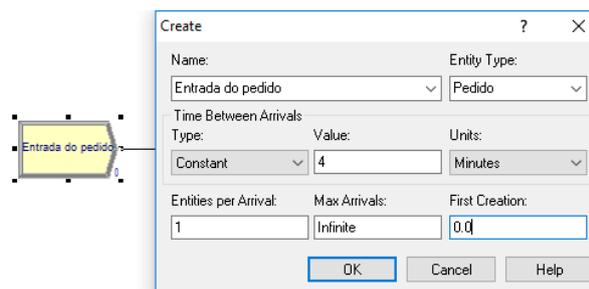
- As listas de picking são enviadas pelo setor de processamento de pedidos ao líder de logística, cada lista deve possuir itens da mesma zona.
- O líder de logística realiza a junção dos pedidos que possuem endereços próximos e que não ultrapasse a capacidade do equipamento utilizado;
- O separador coleta um lote de pedidos e inicia a separação;
- Cada separador coleta os itens correspondentes a sua zona de atuação e realiza a conferência.
- Se a conferência for aprovada o separador pode finalizar o processo e encaminhar os pedidos para área de embalagem.
- Se não, deve realizar a separação de um novo item, se isto for necessário, por exigência da empresa, o separador deverá realizar a conferência de todo pedido novamente, até não encontrar erros.
- O separador finaliza este processo e inicia um novo picking.
- A consolidação dos pedidos na embalagem é de responsabilidade da equipe de embalagem.

### 5.4.1 Modelagem

Para a modelagem deste cenário foi preciso obter estimativas de alguns parâmetros do processo com base na fundamentação teórica. A alteração dos dados foi executada apenas para os processos que sofreram mudança, neste caso, a distribuição dos pedidos e o processo de atendimento. A seguir descreve-se cada um dos módulos utilizados no modelo.

1. O módulo *Create* é o responsável pela entrada dos pedidos no sistema, este módulo é executado pelo setor de processamento de pedidos, como os pedidos serão atendidos em lotes de dois o intervalo entre chegadas será duas vezes maior, desta forma considera-se 4 minutos por chegada.

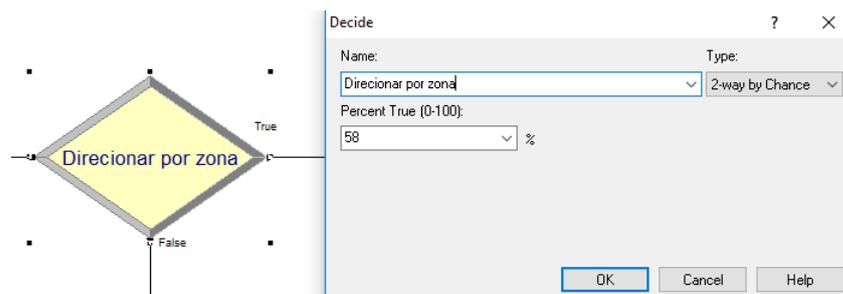
Figura 31 - Entrada do pedido (Cenário 3)



Fonte: Autora (2018).

2. O módulo *Decide* é o responsável por direcionar os pedidos para cada uma das zonas, sendo 58% direcionados para a zona 1, que é seria a zona de alimentos e 42% direcionados para a zona 2 que seria a zona de bebidas.

Figura 32 - Direcionamento dos pedidos (Cenário 3)



Fonte: Autora (2018).

3. O módulo *Process* representa o atendimento dos pedidos para cada um dos quatro separadores, todos os módulos de Atendimento são alimentados da mesma forma, seguindo uma distribuição uniforme. Para a definição do tempo de atendimento deste cenário foi levado em consideração a mesma teoria apresentada no cenário anterior, onde 50% do tempo de picking corresponde ao tempo gasto com deslocamentos (FERNANDES, 2017).

Considerando o dado informado pela empresa, de que os pedidos possuem no máximo 8 caixas, e levantada a capacidade do equipamento de movimentação, de 20 caixas, considera-se que cada lote será composto por no máximo dois pedidos.

Como este cenário contempla picking por lote e picking por zona, considera-se que o tempo gasto no deslocamento irá permanecer o mesmo, visto que os lotes estarão em endereços semelhantes, o que não causará um deslocamento maior que o considerado no picking por zona. Em contrapartida, o tempo gasto na separação dos pedidos irá aumentar, uma vez que o separador estará separando dois pedidos por vez, desta forma, o tempo de separação irá aumentar em 100%.

O aumento do tempo de separação para a Zona 1, e os resultados dos tempos de atendimento para os valores mínimos e máximos podem ser observados na Tabela 15:

Tabela 15 - Tempos de atendimento para a Zona 1 em minutos

| TEMPO  | TEMPO CENÁRIO 2 |           |              | TEMPO CENÁRIO 3 |           |              |
|--------|-----------------|-----------|--------------|-----------------|-----------|--------------|
|        | Total           | Separação | Deslocamento | Total           | Separação | Deslocamento |
| Máximo | <b>6,24</b>     | 3,95      | 2,29         | <b>10,19</b>    | 7,9       | 2,29         |
| Mínimo | <b>3,96</b>     | 2,5       | 1,45         | <b>6,45</b>     | 5         | 1,45         |

Fonte: Autora (2018).

O aumento do tempo de separação para a Zona 2, e os resultados finais dos tempos podem ser observados na Tabela 16.

Tabela 16 - Tempos de atendimento para a Zona 2 em minutos

| TEMPO  | TEMPO CENÁRIO 2 |           |              | TEMPO CENÁRIO 3 |           |              |
|--------|-----------------|-----------|--------------|-----------------|-----------|--------------|
|        | Total           | Separação | Deslocamento | Total           | Separação | Deslocamento |
| Máximo | <b>5,61</b>     | 3,95      | 1,66         | <b>9,56</b>     | 7,9       | 1,66         |
| Mínimo | <b>3,55</b>     | 2,5       | 1,05         | <b>6,05</b>     | 5         | 1,05         |

Fonte: Autora (2018).

Assim como o Atendimento do Cenário 1 e 2, este módulo continua seguindo uma distribuição uniforme, mas desta vez com os tempos de atendimentos calculados acima, é possível observar os dados inseridos no módulo na Figura 33:

Figura 33 – Atendimento Zona 1 (Cenário 3)

The screenshot shows a 'Process' dialog box with the following settings:

- Name: Atendimento Z1
- Type: Standard
- Logic: Seize Delay Release
- Priority: Medium(2)
- Resources: Resource\_Z1\_1, <End of list>
- Delay Type: Uniform
- Units: Minutes
- Allocation: Value Added
- Minimum: 6.45
- Maximum: 10.19
- Report Statistics:

Fonte: Autora (2018).

Para o Atendimento da Zona 2, considera-se o mesmo tipo de distribuição, e com os novos tempos de atendimento calculados, de acordo com a Figura 34:

Figura 34 – Atendimento Zona 2 (Cenário 3)

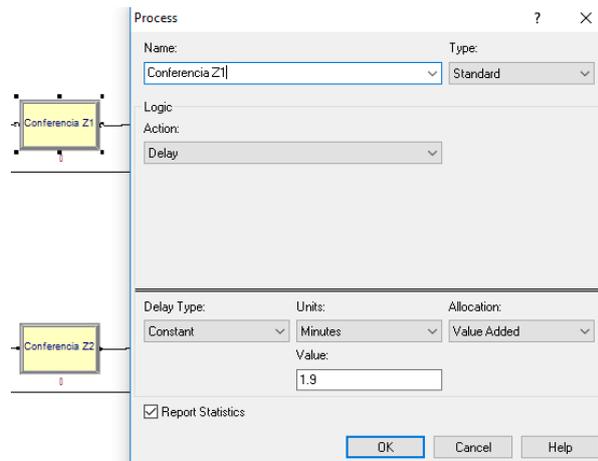
The screenshot shows a 'Process' dialog box with the following settings:

- Name: Atendimento Z2
- Type: Standard
- Logic: Seize Delay Release
- Priority: Medium(2)
- Resources: Resource\_Z2\_1, <End of list>
- Delay Type: Uniform
- Units: Minutes
- Allocation: Value Added
- Minimum: 6.05
- Maximum: 9.56
- Report Statistics:

Fonte: Autora (2018).

4. O quarto módulo é o *Process*, responsável pela Conferência dos pedidos, como o número de itens coletados será limitado pela capacidade do equipamento de movimentação, o tempo de conferência considerado será o máximo obtido no sistema real, pois este tempo corresponde a um pedido que ocupou o equipamento até o limite da capacidade, que é a mesma situação que é proposta neste cenário.

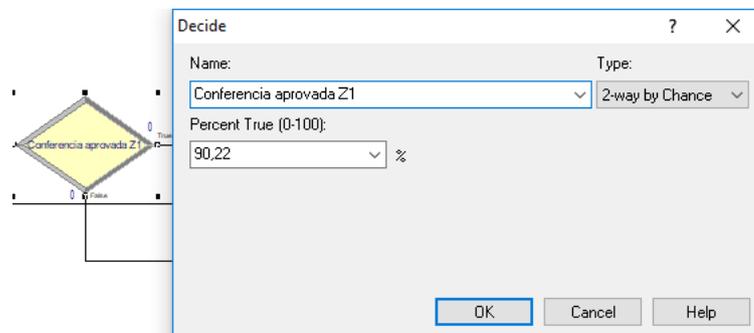
Figura 35 - Conferência (Cenário 3)



Fonte: Autora (2018).

5. O quinto módulo é o *Decide*, responsável por representar a decisão do processo em relação a conferência dos itens, no cenário atual da empresa 95,11% dos pedidos são aprovados na primeira conferência, como uma das desvantagens do picking por lote é ocasionar erros de separação foi considerado uma taxa de conferência reprovada duas vezes maior que a existente.

Figura 36 - Análise da Conferência



Fonte: Autora (2018).

6. O módulo *Process*, responsável pela Separação do Novo Item, e o módulo *Dispose* responsável pelo encerramento do processo, seguem distribuição e parâmetros idênticos aos do Cenário 2, uma vez que não sofrem alteração na mudança de estratégia.

#### 5.4.2 Análise dos resultados do Cenário 3

Este tópico traz os resultados do cenário proposto que contempla duas estratégias de picking, a por lote e por zona. Neste cenário, os pedidos são atendidos em lotes de dois, conforme descrito no tópico anterior, logo, cada entidade que entra e que sai corresponde a dois pedidos, estes valores estão descritos na Tabela 17:

Tabela 17 - Número de entidades que entraram e saíram do sistema

| <b>Entidades que entraram</b> | <b>Entidades que saíram</b> |
|-------------------------------|-----------------------------|
| 103                           | 101                         |

Fonte: Autora (2018).

Analisando o lote de entrada e de saída, a fim de comparação podemos afirmar que 206 entidades entraram e 202 foram processadas no tempo da simulação.

Na Tabela 18 temos taxa de utilização dos recursos disponíveis em cada zona.

Tabela 18 - Utilização de cada recurso

| <b>Zonas</b> | <b>Nº de recursos</b> | <b>Nº de atendimentos</b> | <b>Taxa de ocupação (%)</b> |
|--------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------------|
| Zona 1       | 2                     | 69                        | 63%                         |
| Zona 2       | 2                     | 54                        | 53%                         |

Fonte: Autora (2018).

É possível observar que ambas as Zonas apresentam recursos ociosos neste cenário, porém, esta ociosidade não é suficiente para redução do número de recursos, uma vez que se houvesse a redução a taxa ultrapassaria 100%. Na tabela 19 temos os resultados da geração de filas para cada processo e zona.

Tabela 19 - Tamanho médio de filas para cada zona

| <b>Processo</b>     | <b>Separadores</b> | <b>Tamanho médio da fila</b> |
|---------------------|--------------------|------------------------------|
| Atendimento         | Zona 1             | 0,03                         |
|                     | Zona 2             | 0,01                         |
| Separação Novo Item | Zona 1             | 0,01                         |
|                     | Zona 2             | 0,00                         |

Fonte: Autora (2018).

Conforme é possível observar, os valores apresentados estão muito próximos de zero. Por esta razão, na prática pode-se afirmar que este cenário não gera filas em nenhum dos processos. A Tabela 20 apresenta os tempos gastos no processo e na espera pelo atendimento.

Tabela 20 - Tempos médios de cada processo

| <b>Processo</b>     | <b>Separadores</b> | <b>Tempo do processo (min)</b> | <b>Tempo de espera para o processo (min)</b> | <b>Tempo total gasto (min)</b> |
|---------------------|--------------------|--------------------------------|--|--------------------------------|
| Atendimento         | Zona 1             | 8,14                           | 0,18   | 8,32                           |
|                     | Zona 2             | 7,52                           | 0,06   | 7,59                           |
| Conferência         | Zona 1             | 1,33                           | 0,00   | 1,33                           |
|                     | Zona 2             | 1,38                           | 0,00   | 1,38                           |
| Separação Novo Item | Zona 1             | 1,37                           | 0,31   | 1,68                           |
|                     | Zona 2             | 1,31                           | 0,00   | 1,31                           |

Fonte: Autora (2018).

O tempo gasto no processo de Atendimento, dado que foi estimado neste estudo, é maior em relação aos demais cenários, visto que cada etapa de Atendimento contempla um lote de dois pedidos. O tempo de espera exerce pouca influência no tempo total gasto para o processo, desta forma não influencia de maneira relevante este cenário.

## 5.5 COMPARAÇÃO ENTRE OS CENÁRIOS

Com o intuito de avaliar qual é a melhor estratégia de picking para o Centro de Distribuição é necessário realizar uma comparação entre o cenário atual e os dois cenários propostos, avaliando os critérios que a empresa julgue mais importantes.

Conforme descrito nos capítulos anteriores o principal objetivo para mudança de estratégia é o aumento da produtividade dos colaboradores, ou seja, espera-se que com a modificação do cenário eles consigam realizar o picking em um menor tempo. Porém, não é apenas com o aumento da produtividade que a empresa está preocupada, o picking também precisa ocorrer de forma eficiente, sem erros na entrega das mercadorias, sem causar divergências nos inventários, e sem causar sobrecarga de trabalho aos colaboradores.

Neste contexto, o melhor cenário é indicado seguindo os resultados quantitativos do trabalho assim como a análise qualitativa realizada junto aos especialistas da empresa.

Ao analisar os resultados da simulação, um importante dado a ser comparado é o número de entidades que foram processadas pelo sistema, para os três cenários a taxa de entrada foi a mesma. O primeiro cenário, atendeu 94,17% das entidades no tempo estabelecido da simulação, o segundo cenário atendeu 96,6%, e o terceiro cenário atendeu 98,0% das entidades.

Outro resultado a ser avaliado é a taxa de ocupação de recursos. Para a empresa é ideal que este número seja igual a 80%, para garantir que os colaboradores não estejam sujeitos a sobrecarga, o que pode ocasionar não apenas ineficiência da operação, como também problemas de saúde ao colaborador. No cenário 1 esta taxa esteve acima do estipulado para dois colaboradores, este resultado já era esperado, em razão deste cenário refletir a realidade já conhecida da operação. Os outros dois colaboradores tiveram suas taxas de ocupação abaixo da média esperada, uma vez que a demanda é distribuída igualmente aos separadores pode-se justificar este dado com os picking's que levaram menos tempo para serem concluídos, em razão da facilidade de coleta, número de itens a serem coletados e baixa taxa de erro na conferência. No segundo e terceiro cenário há ociosidade de tempo, sendo em ambos uma maior taxa para a Zona 2, porém, esta ociosidade não justifica a exclusão de um dos recursos, uma vez que esta ação poderia ultrapassar a taxa de ocupação ideal dos demais colaboradores, porém, este tempo ocioso pode ser visto como uma vantagem do cenário, uma vez que pode ser utilizado para realização de outras atividades na empresa.

O terceiro resultado a ser comparado é o tamanho das filas para cada um dos cenários. O primeiro cenário apresentou fila apenas para etapa de Atendimento, sendo até 2,57 pedidos em fila para um dos separadores, maior tamanho de fila dos

três cenários. O segundo cenário também apresentou fila apenas para etapa de Atendimento, mas teve valores próximos a zero. Já o terceiro cenário apresentou fila para etapa de Atendimento e Separação de Novo Item, e assim como o cenário anterior resultou em valores próximos a zero. Em prática pode-se afirmar que ambos cenários propostos não apresentam filas.

O tempo médio de cada processo envolvido no picking também é um resultado importante a ser comparado, pois ele indica qual estratégia permite executar os processos de maneira mais rápida. Analisando os três cenários, o que apresentou tempo de atendimento maior foi o cenário 1, este tempo foi maior tanto para pedidos que tiveram erros de conferência como para aqueles que não tiveram. O cenário 2 apresentou tempo de Atendimento de 6,51 min para a Zona 1 e 4,81 min para a Zona 2. Como os resultados do Cenário 3 apresentam-se em tempos por lote, é necessário a divisão do tempo pelo tamanho de lote para tornar válida a comparação. Desta forma, é possível afirmar que o cenário 3 apresentou tempo de Atendimento de 4,16 para a Zona 1 e 3,79 para a Zona 2, sendo os menores tempos por pedido entre os três cenários. Os tempos de Conferência e Separação de Novo Item são semelhantes para os três cenários estudados.

Considerando todas as análises quantitativas apresentadas, a melhor estratégia de picking a ser indicada é a estratégia de picking por lote e zona, em razão de apresentar a maior taxa de atendimento de pedidos, o menor tamanho de fila, os menores tempos de atendimento aos pedidos e a menor taxa de ocupação de recurso, o que permite que o mesmo execute outras atividades ou esteja disponível atender uma maior demanda. Na Tabela 23 tem-se um resumo dos resultados:

Tabela 2 - Resumo dos resultados

| Cenários/<br>Resultados | Taxa de entidades processadas (%) | Ocupação média dos recursos (%) | Tamanho médio da fila (pedidos) | Tempo médio total gasto por processo (min) |             |                     |
|-------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--|-------------|---------------------|
|                         |                                   |                                 |                                 | Atendimento                                | Conferência | Separação Novo item |
| Cenário 1               | 94,17%                            | 81,00%                          | 1,43                            | 16,66                                      | 1,36        | 1,28                |
| Cenário 2               | 96,60%                            | 65,00%                          | 0,25                            | 5,66                                       | 1,32        | 1,36                |
| Cenário 3               | 98,00%                            | 58,00%                          | 0,01                            | 3,97                                       | 1,35        | 1,49                |

Fonte: Autora (2018).

Em relação a análise qualitativa deste cenário, a empresa julga imprescindível que a estratégia adotada não gere erros na separação de mercadorias. Conforme descrito no referencial teórico, uma das desvantagens do Picking por Lote é o risco de erros na separação. Considerando que a estratégia Lote e Zona apresentou vantagem em todos os critérios analisados, a empresa pode utilizar a ociosidade dos recursos para adotar novas rotinas de conferência de mercadoria, ou utilizar coletores eletrônicos de dados, afim de garantir a exatidão do pedido com esta estratégia.

Outra ação indicada para este novo cenário é a realização de treinamentos constantes, para a equipe de picking e para a equipe de consolidação dos pedidos, bem como o desenvolvimento de procedimentos operacionais e fichas de instrução de trabalho para orientar a execução da atividade a todos os envolvidos.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo determinar qual a estratégia de picking mais adequada ao Centro de Distribuição de produtos alimentícios, através da simulação de três cenários e análise das medidas de desempenho geradas através do software Arena ®.

O primeiro cenário foi simulado para a validação do sistema real, com o objetivo de realizar a análise comparativa com os cenários propostos, afim de identificar se a mudança na estratégia de picking era relevante para a empresa. O segundo e terceiro cenário trataram de outras duas estratégias de picking previstas na teoria, para ambos foi necessária uma estimativa de dados feita através de informações teóricas aplicadas aos dados reais.

A simulação mostrou-se uma importante aliada para a tomada de decisão deste estudo, que permitiu indicar qual a melhor estratégia a ser utilizada, bem como dar sugestões e analisar pontos onde apenas a observação ao sistema real não seria suficiente. Porém, foi possível observar que a correta representação de um sistema real depende de bastante análise técnica, para representar cada uma de suas peculiaridades e garantir que as simplificações realizadas não alterem o resultado.

A coleta e o tratamento de dados são uma das etapas mais importantes da simulação, porém, mostrou-se uma atividade bastante dispendiosa, apesar de não ter sido necessário realizar coleta de dados manualmente, muitos dados não estavam representados da maneira que seriam utilizados, o que exigiu análise e consolidação antes de implantá-los no sistema.

Os resultados analisados no trabalho mostraram-se suficientes para a indicação da estratégia de picking por lote e zona, pois atendem a todos os critérios da empresa necessários para validar uma mudança na estratégia. Como sugestão para um trabalho futuro indica-se a análise de custos relativos aos três cenários, considerando o custo de mão de obra dedicada ao picking, o custo com inventário, o custo do deslocamento dentro do armazém feito com o equipamento de movimentação e o custo de implantação de cada uma das estratégias. Outra

sugestão é a análise de cada uma das estratégias considerando todos os deslocamentos a serem feitos para a separação do pedido.

Por fim, este estudo mostrou-se de grande utilidade para determinar a estratégia adequada para o Centro de Distribuição, uma vez que a simulação apontou os comportamentos futuros de cada um dos cenários propostos, descartando a necessidade de interrupção das atividades ou períodos de testes para a tomada de decisão.

## REFERÊNCIAS

ALTIOK, T.; MELAMED, B.. **Simulation Modeling and Analysis with ARENA**. New Jersey: Academic Press, 2007. 456 p.

ALVARENGA, A. C.; NOVAES, A .G.. **Logística Aplicada - Suprimento e Distribuição Física**. São Paulo: Pioneira, 1994, p.254.

ARENALES, M.; ARMETANO, V. A.; MORABITO, R.; YANASSE, H. H. (2014). **Pesquisa operacional: para cursos de engenharia**. Elsevier, Rio de Janeiro.

TRIANON, Centro de Distribuição. **Armazens Trianon**, São Paulo, Disponível em: <<http://www.armazenstrianon.com.br/centro-distribuicao-terceirizado>>. Acesso em: 01 dez. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MOVIMENTAÇÃO E LOGÍSTICA (ORG.). **Definição Logística**. 2009. Disponível em: <<https://www.abtc.org.br/>>. Acesso em: 23 jul. 2018.

BALLOU, R. H. **Logística Empresarial**. São Paulo: Atlas, 1999. 373 p.

BATEMAN, R. E.; BOWDEN, R. O.; GOGG, T. J.; HARREL, C. R.; MOTT, J. R. A.; MONTEVECHI, J. A. B. **Sistemas de simulação: aprimorando processos de logística, serviços e manufatura**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

CARDOSO, L. E. Z.; JOAQUIM J., CELSO F.. Simulação computacional: análise comparativa dos softwares Arena® e Promodel®. **Tekhne e Logos**, Botucatu, v. 7, n. 1, p.14-26, abr. 2016.

CHEN, L.; HU, D.; XU, T.. **Highway freight terminal facilities allocation based on flexsim**. Elsevier: Procedia - Social and Behavioral Sciences. Shaanxi, China, p. 1-12. ago. 2013.

DIAS, M. A. P. **Logística, transporte e infraestrutura: armazenagem, operador logístico**. São Paulo: Atlas, 2012.

FERNANDES, P. D. C.. **Otimização do processo de picking**. 2017. 132 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Empresariais, Instituto Politécnico de Setúbal, Setúbal, 2017. Disponível em: <[https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/19908/1/Trabalho%20Final%20de%20Tese\\_MCE-GDL\\_Paulo%20Fernandes\\_150327033.pdf](https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/19908/1/Trabalho%20Final%20de%20Tese_MCE-GDL_Paulo%20Fernandes_150327033.pdf)>. Acesso em: 23 set. 2018.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila.

FREITAS FILHO, P. J. de. **Introdução Modelagem e Simulação de Sistemas com Aplicações Arena**. 2. ed. Florianópolis: VisualBooks, 2008.

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 6. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2008. 220 p.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J.. **Introdução a Pesquisa Operacional**. 8. ed. São Paulo: Mc Graw Hill, 2006. 850 p.

INSIDE, Logisct. **Empilhadeira de Pedidos**. Disponível em: <<https://www.logisticsinside.eu/category/product-news/>>. Acesso em: 23 jun. 2018.

INSIDE, Logisct. **Veículo de Coleta de Alto Nível**. Disponível em: <<https://www.logisticsinside.eu/category/product-news/>>. Acesso em: 23 jun. 2018.

LIMA, M. – **Estratégias de picking na armazenagem**. Rio de Janeiro: CEL/COPPEAD. Disponível em: <http://www.ilos.com.br/web/estrategias-de-picking-na-armazenagem/> Acesso em: 29 abr. 2018.

LIN, C.; LU, Iuan-yuan. The procedure of determining the order picking strategies in distribution center. **Elsevier: Int. J. Production Economics**. Taiwan, p. 301-307. mar. 1999.

LU, M.; WONG, L.C. **Comparison of two simulation methodologies in modeling construction systems: Manufacturing-oriented PROMODEL vs construction-oriented SDESA**. In: **Automation in Construction**. Elsevier, 86-95, 2007.

MARTINS, F. A. S. **Introdução a Pesquisa Operacional**. São Paulo: Cultura Acadêmica Editora, 2011. 176 p. Disponível em: <[https://www.cairu.br/biblioteca/arquivos/Ciencia/Introducao\\_pesquisa\\_operacional.pdf](https://www.cairu.br/biblioteca/arquivos/Ciencia/Introducao_pesquisa_operacional.pdf)>. Acesso em: 23 abr. 2018.

NEI, Revista. **Carrinho de Gaiola**. Disponível em: <<https://www.nei.com.br/catalogo-industrial/carrinhos-manuais-industriais>>. Acesso em: 23 jun. 2018.

PARIKH, P. J.; MELLER, R. D. (2008), “**Selecting Between Batch and Zone Order Picking Strategies in a Distribution Center**,” *Transportation Research Part E*, 696-719.

PAURA, G. L.. **Fundamentos da Logística**. 2012, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia. Curitiba - PR. Disponível em: <[edeetec.mec.gov.br/images/stories/pdf/proeja/fundamentos\\_logistica.pdf](http://edeetec.mec.gov.br/images/stories/pdf/proeja/fundamentos_logistica.pdf)>. Acessado em: 07 jun. 2018.

PISSINELLI, G. L. Modelo de simulação de eventos discretos para análise de fluxo de veículos. Encontro nacional de engenharia de produção. 2015, Campinas. **Anais**. Fortaleza: Enegep, 2015. p. 1 - 16.

PRADO, D. S. do. **Teoria das Filas e da Simulação**. Belo Horizonte, MG: Editora FALCONI, v. 2, 2014.

PRADO, D. S. **Usando o ARENA em Simulação**. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1999.

RUSHTON, A.; CROUCHER, P.; BAKER, P.. **The Handbook of Logistics & Distribution Management**. 3. ed. Great Britain: Kogan Page, 2006. 665 p.

SANTOS, C. C. C. R.. **Logística Interna de Movimentação e Armazenagem de Materiais**. Trabalho de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia de Produção, do Centro de Tecnologia, da Universidade Estadual de Maringá, 2005.

SERVERA-FRANCÉS, D. Concepto y evolución de la función logística. **Innovar**. Valência, p. 217-234. 22 mar. 2011. Disponível em: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/innovar/article/view/22403/23296> Acesso em: 20 abr. 2018.

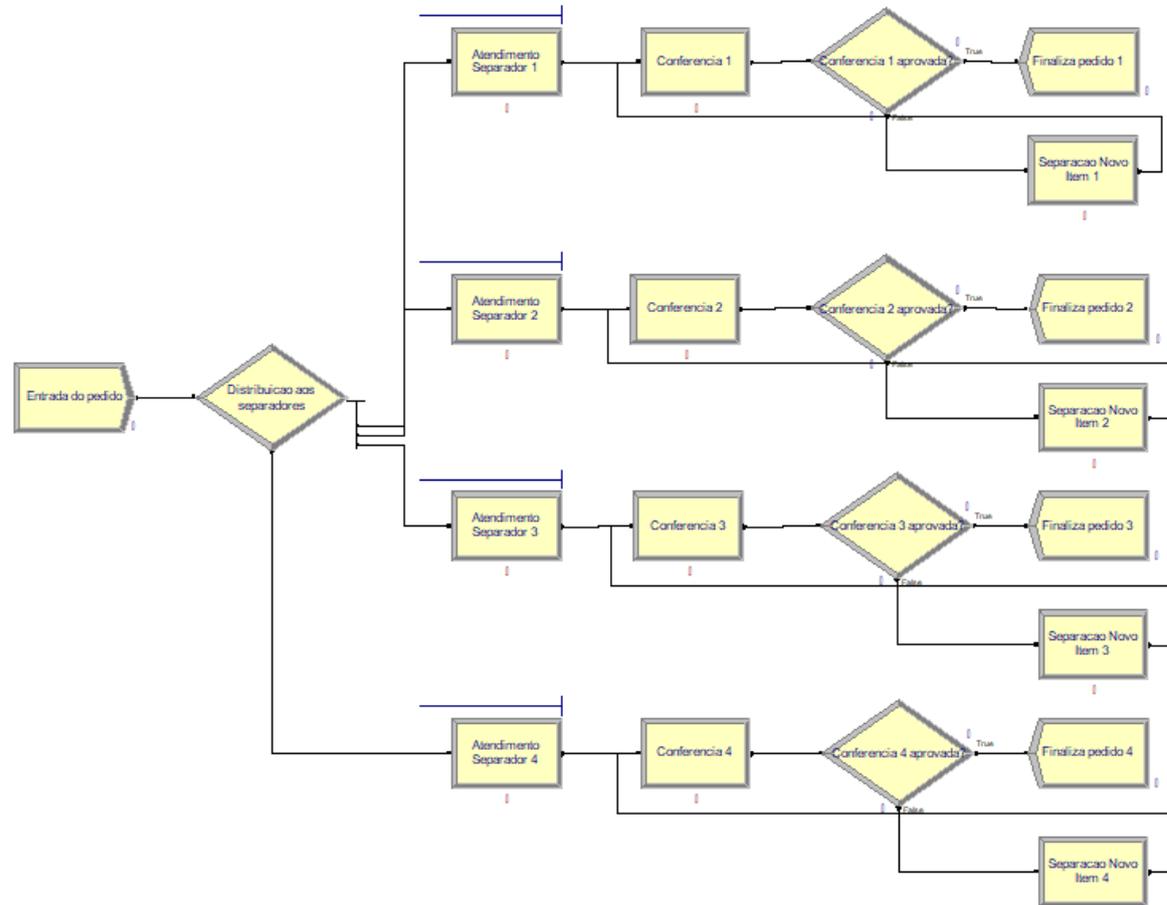
SILVA, L. M. F. e; PINTO, M.; SUBRAMANIAN, A. **Utilizando o software arena como ferramenta de apoio ao ensino em engenharia de produção**. Em: encontro nacional de engenharia de produção, 2007, Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu: Enegep, p. 1 - 10.

YU, Q.; DUFFY, V.; MCGINLEY, J.; ROWLAND, Z. **Productivity simulation with promodel for an automotive assembly workstation involving a lift assist device**. In: **Proceedings – Winter Simulation Conference**. Monterey, California. Elsevier, 1935-1939, 2006.

ZHU, X.; ZHANG, R.; CHU, F.; HE, Z.; LI, J. (2014). A Flexsim-based Optimization for the Operation Process of Cold-Chain Logistics Distribution Centre. **Journal of applied research and technology**, p. 270-278. abr. 2014.

## APÊNDICE A

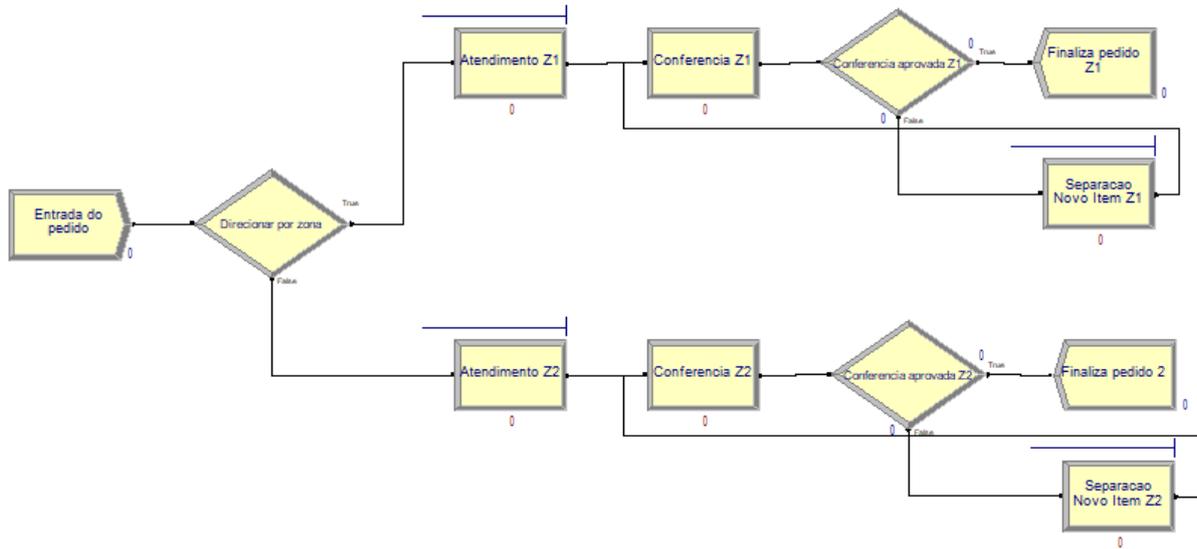
Figura 37- Modelo Arena Picking Discreto



Fonte: Autora (2018).

## APÊNDICE B

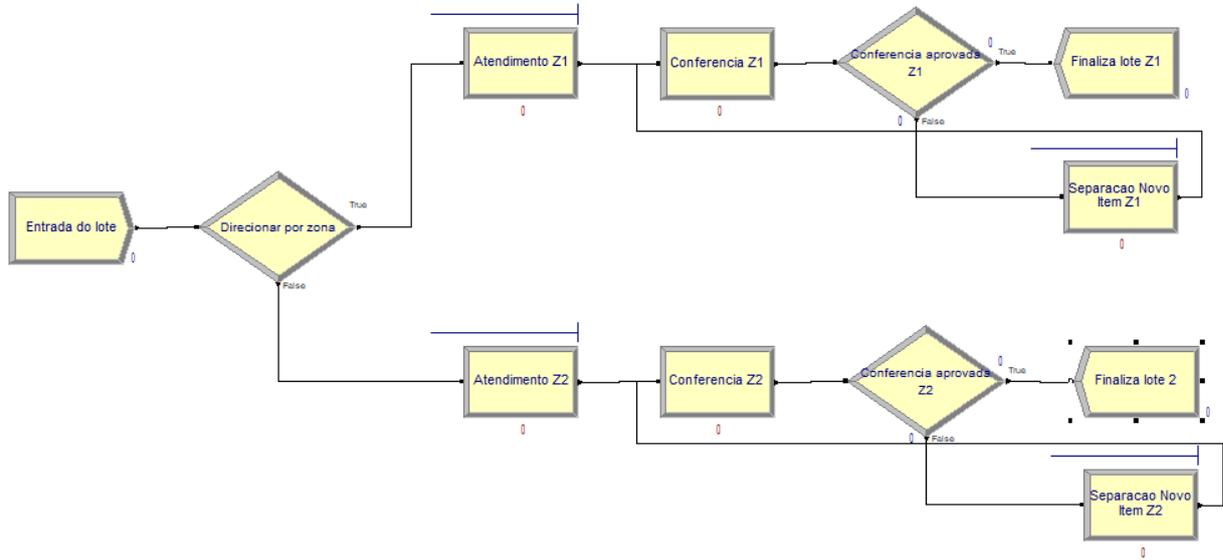
Figura 38- Modelo Arena Picking por Zona



Fonte: Autora (2018).

## APÊNDICE C

Figura 39- Modelo Arena Picking por Lote/Zona



Fonte: Autora (2018).