

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

BRUNO BREZINA DE ARAÚJO

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE DIFERENTES DESIGNAÇÕES
DE ARMAZENAMENTO BASEADO EM CLASSES EM UM ARMAZÉM**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PONTA GROSSA

2018

BRUNO BREZINA DE ARAÚJO

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE DIFERENTES DESIGNAÇÕES
DE ARMAZENAMENTO BASEADO EM CLASSES EM UM ARMAZÉM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção, do Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Shih Yung Chin

PONTA GROSSA

2018



TERMO DE APROVAÇÃO DE TCC

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE DIFERENTES DESIGNAÇÕES DE
ARMAZENAMENTO BASEADO EM CLASSES EM UM ARMAZÉM**

por

BRUNO BREZINA DE ARAÚJO

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado em 21 de novembro de 2018 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Shih Yung Chin
Prof. Orientador

Prof. Dr. Everton Luiz de Melo
Membro titular

Prof. Dr. Fábio José Ceron Branco
Membro titular

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso”.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus por possibilitar a conclusão e a vivência dessa etapa de aprendizados e por todas as transformações que ocorreram devido à essa experiência.

Agradeço aos meus pais pelos ensinamentos, instruções e motivação. Por toda a dedicação e por não medirem esforços para que eu concluísse essa etapa.

Agradeço aos meus avós por sempre acreditarem em mim e por todo o incentivo e apoio.

A minha namorada pelo apoio, motivação e compreensão nos momentos difíceis, pelas orientações e conselhos e por sempre acreditar no meu sucesso.

A minha irmã que faz parte da minha história e contribuiu para que eu me tornasse quem sou.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Shih Yung Chin pelas instruções e por me guiar nessa trajetória.

E a todos que me ajudaram de algum modo e fizeram parte da realização desse trabalho.

RESUMO

ARAÚJO, Bruno B. **Avaliação de desempenho de diferentes designações de armazenamento baseado em classes em um armazém.** 2018. 138 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2018.

Em um mercado globalizado, a disputa entre as organizações tornou-se ainda mais competitiva. Somado a isso, as expectativas e comportamentos dos clientes mudaram. Agora os clientes exigem envios mais frequentes e rápidos com um baixo custo associado. Os lotes de entregas ficaram menores e com uma maior variedade de produtos. Nesse contexto, a logística deixou de ser vista como uma atividade de apoio, para ser compreendida como um elemento crucial para o ganho de vantagens competitivas. Contudo, o presente trabalho na área logística é focado na gestão da armazenagem, especialmente no aumento da eficiência da atividade de coleta de pedidos. Essa atividade é essencial para conclusão da armazenagem, entretanto, demanda muito tempo e mão-de-obra. Este estudo teve como objetivo analisar o nível de influência de uma disposição dos tipos de produtos, que considera a capacidade do equipamento sobre a distância total percorrida. Os cenários foram formados por meio da aplicação de quatro métodos diferentes de designação de locais de armazenagem. Os métodos são a Classificação ABC usando a demanda mensal e procedimentos baseados no critério massa ou combinações da demanda e massa para classificar e alocar diferentes tipos de produtos. Após a simulação e análise da atividade de coleta em cada um dos cenários, concluiu-se que, para as condições propostas, os procedimentos que utilizam o critério massa dos produtos na primeira classificação tendem a ser mais eficientes. O procedimento que agrupou os tipos de produtos usando o critério massa e depois subclassificou os tipos de cada classe usando a demanda proporcionou a menor soma das distâncias percorridas. A soma das distâncias dos cenários criados por esse procedimento foi de 8462 u.d.

Palavras-chave: Designação de locais de armazenagem. Gerenciamento de armazém. Simulação. Classificação ABC.

ABSTRACT

ARAÚJO, Bruno B. **Performance evaluation of different class-based storage assignment methods in a warehouse.** 2018. 138 p. Work of Conclusion Course (Graduation in Industrial Engineer) - Federal Technology University - Paraná. Ponta Grossa, 2018.

In a globalized market, the dispute between organizations has become even more competitive. In addition, customer's expectations and behaviors have changed. The customers require more frequent and faster shipments at a low cost. The shipping batches were smaller and with more variety of products. In this context, logistics is no longer seen as a support activity, but as a crucial element to obtain competitive advantages. However, this work in logistics area is focused on storage management, especially in increasing the efficiency of the order picking activity. This activity is essential for storage, but requires much time and labor. The aim of this study was to analyze the level of influence of a arrangement, which considers the capacity of the equipment over the total distance traveled. The scenarios were formed through the application of four different methods of storage location assignment. These methods consist of an ABC Curve using monthly demand and procedures based on mass criteria or combinations of demand and mass to classify and allocate the different product types. After the simulation and analysis of order picking activity in each of the scenarios, it was concluded that for the proposed conditions, the procedures which use the mass criteria of the products in the first classification tend to be more efficient. The procedure that grouped the products using the mass criteria and after classified the products of each category using the demand criteria results in the shortest sum distance traveled. The sum of scenarios' distance of this procedure was 8462 d.u.

Keywords: Storage location assignment. Warehouse management. Simulation. ABC Curve.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Áreas do trabalho logístico.....	22
Figura 2 - Ciclo crítico de atividades logísticas primárias.....	22
Figura 3 - Relações entre as atividades logísticas primárias e de apoio.....	23
Figura 4 - Fluxo de materiais no armazém tradicional.....	27
Figura 5 - Formato de um armazém tradicional.....	31
Figura 6 - Posicionamento e aplicação do centro de distribuição.....	33
Figura 7 - Procedimento do presente estudo.....	60
Figura 8 - Modelo de layout geral do armazém.....	61
Figura 9 - Modelo de armazém.....	63
Figura 10 - Cenários 1 e 2.....	82
Figura 11 - SKU's nas seções dos cenários 1 e 2.....	83
Figura 12 - Cenários 3 e 4.....	86
Figura 13 - Área das classes no Cenários 5.....	89
Figura 14 - Cenários 5 e 6.....	94
Figura 15 - SKU's nas seções dos cenários 5 e 6.....	95
Figura 16 - Cenários 7 e 8.....	100
Figura 17 - SKU's nas seções dos cenários 7 e 8.....	100
Figura 18 - Interface com o usuário do código de programação.....	102
Figura 19 - Exemplo do formato das listas de coleta.....	103
Figura 20 - Exemplo do formato de inserção e leitura dos cenários.....	104
Figura 21 - Informações e representação gráfica da primeira e segunda movimentações da simulação no cenário 1.....	105
Figura 22 - Informações e representação gráfica da terceira e quarta movimentações da simulação no cenário 1.....	106
Figura 23 - Informações e representação gráfica da quinta e sexta movimentações da simulação no cenário 1.....	107

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Diagrama de Pareto do procedimento usando o critério demanda.....	81
Gráfico 2 - Diagrama de Pareto do procedimento usando o critério massa	86
Gráfico 3 - Diagrama de Pareto da subclassificação a partir do critério massa para a classe A.....	91
Gráfico 4 - Diagrama de Pareto da subclassificação a partir do critério massa para a classe B.....	92
Gráfico 5 - Diagrama de Pareto da subclassificação a partir do critério massa para a classe B.....	93
Gráfico 6 - Diagrama de Pareto da subclassificação a partir do critério demanda mensal para a classe A	96
Gráfico 7 - Diagrama de Pareto da subclassificação a partir do critério demanda mensal para a classe B	98
Gráfico 8 - Diagrama de Pareto da subclassificação a partir do critério demanda mensal para a classe C.....	99
Gráfico 9 - Distâncias totais percorridas nos oito cenários durante a simulação	109
Gráfico 10 - Distâncias totais percorridas para os quatro procedimentos de classificação e alocação.....	110

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Lista dos vinte tipos de produtos	75
Tabela 2 - Porcentagem e quantidade efetiva de seções de armazenamento para cada tipo de produto.....	77
Tabela 3 - Quantidade de SKU's.....	78
Tabela 4 - Classificação a partir do critério demanda mensal.....	80
Tabela 5 - Classificação a partir do critério massa dos tipos de produtos.....	84
Tabela 6 - Subclassificação a partir do critério massa dos tipos de produtos para a classe A.....	90
Tabela 7 - Subclassificação a partir do critério massa dos tipos de produtos para a classe B.....	91
Tabela 8 - Subclassificação a partir do critério massa dos tipos de produtos para a classe C.....	93
Tabela 9 - Subclassificação a partir do critério demanda mensal para a classe A....	96
Tabela 10 - Subclassificação a partir do critério demanda mensal para a classe B..	97
Tabela 11 - Subclassificação a partir do critério demanda mensal para a classe C..	98
Tabela 12 - Comparação das distâncias percorridas nas listas com a distância média das listas para cada cenário.....	111
Tabela 13 – Dados das listas de coleta.....	112

LISTA DE ABREVIATURAS

OPT	Optimal
Qtde	Quantidade
u.d.	Unidade de Distância
u.m.	Unidade de Massa

LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

BFS	<i>Breath-First Search</i>
CD	Centro de Distribuição
COI	<i>Cube-Per-Order Index</i>
COL	<i>Closest-Open-Location</i>
CSCMP	<i>Council of Supply Chain Management Professionals</i>
DOS	<i>Duration-of-Stay</i>
DTI	<i>Density-Turnover Index</i>
EQS	<i>Equal Space</i>
EQT	<i>Equal Time</i>
FIFO	<i>First-in, First-out</i>
FOL	<i>Farthest-Open-Location</i>
LIFO	<i>Last-in, First-out</i>
LOL	<i>Longest-Open-Location</i>
OPS	<i>Order Picking System</i>
PIB	Produto Interno Bruto
SAP	<i>Storage Assignment Policy</i>
SKU	<i>Stock Keeping Unit</i>
SLAP	<i>Storage Location Assignment Problem</i>
SLAP/II	<i>Storage Location Assignment Problem based on item information</i>
SLAP/NI	<i>Storage Location Assignment Problem based on no information</i>
SLAP/PI	<i>Storage Location Assignment Problem based on product information</i>
VAP	<i>Vectors Assignment Problem</i>
WMS	<i>Warehouse Management System</i>

SUMÁRIO

LISTA DE GRÁFICOS	7
1 INTRODUÇÃO	12
1.1 PROBLEMA	13
1.2 JUSTIFICATIVA	14
1.3 OBJETIVO GERAL	17
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
1.5 DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	18
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	19
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	20
2.1 LOGÍSTICA	20
2.2 ARMAZENAGEM	25
2.3 A IMPORTÂNCIA DOS ESTOQUES	28
2.4 INSTALAÇÕES DE ARMAZENAGEM	30
2.5 LAYOUT.....	34
2.6 ESTRATÉGIAS DE ORGANIZAÇÃO DA ATIVIDADE DE COLETA.....	36
2.7 SEÇÕES DE ARMAZENAMENTO PARA CADA TIPO DE PRODUTO.....	41
2.8 LOCALIZAÇÃO DOS PRODUTOS	42
2.8.1 Políticas de Armazenamento.....	43
2.8.2 Problema de Designação de Locais de Armazenagem.....	45
2.8.2.1 Problema de designação dos locais de armazenagem baseado nas informações do item (SLAP/II).....	46
2.8.2.2 Problema de designação dos locais de armazenagem baseado nas informações do produto (SLAP/PI).....	47
2.8.2.3 Problema de designação dos locais de armazenagem baseado em nenhuma informação (SLAP/NI).....	48
2.8.3 Classificação ABC.....	49
2.9 PROCESSO DE SIMULAÇÃO	51
2.9.1 Sistema Real	51
2.9.2 Modelo.....	51
2.9.3 Simulação.....	53
2.9.3.1 Simulação de monte carlo.....	53
2.9.4 Algoritmo <i>Breath-First Search</i> (BFS).....	54
2.9.5 Justificativa para o Uso da Simulação.....	56
2.9.6 Vantagens e Desvantagens da Simulação.....	57
3 METODOLOGIA	58
3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	58
3.2 OPERACIONALIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS	60
3.2.1 <i>Layout</i> e Configuração do Departamento de Armazenagem.....	61

3.2.1.1 Definição do processo de coleta	64
3.2.1.2 Definição dos tipos de produtos	65
3.2.2 Quantidade de Seções de Armazenamento para Cada Tipo de Produto	65
3.2.3 Designação de Locais de Armazenagem	66
3.2.4 Simulação e Análise	71
4 DESENVOLVIMENTO	75
4.1 CRIAÇÃO E ANÁLISE DA POPULAÇÃO	75
4.2 DEFINIÇÃO E ANÁLISE DA QUANTIDADE DE SEÇÕES DE ARMAZENAMENTO PARA CADA TIPO DE PRODUTO.....	76
4.3 FORMAÇÃO E ANÁLISE DOS CENÁRIOS.....	79
4.3.1 Formação dos Cenários 1 e 2	79
4.3.2 Formação dos Cenários 3 e 4	84
4.3.3 Formação dos Cenários 5 e 6	87
4.3.4 Formação dos Cenários 7 e 8	95
4.4 DESENVOLVIMENTO DA SIMULAÇÃO.....	101
5 ANÁLISE E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	109
6 CONCLUSÕES	114
REFERÊNCIAS.....	117
APÊNDICE A – LISTAS DE COLETA 1 E 2.....	129
APÊNDICE B – LISTAS DE COLETA 3 E 4.....	131
APÊNDICE C – LISTAS DE COLETA 5 E 6.....	133
APÊNDICE D – LISTAS DE COLETA 7 E 8.....	135
APÊNDICE E – LISTAS DE COLETA 9 E 10.....	137

1 INTRODUÇÃO

Devido ao evento da globalização, a competitividade entre as corporações aumentou. O maior fluxo de informações e a difusão das melhores práticas dificultaram para as empresas se sobressaírem na eficácia operacional em relação aos concorrentes. Além do mais, com as mudanças no funcionamento do mercado, os clientes aumentaram suas expectativas e passaram a exigir um maior nível de serviço com um baixo custo associado. Somado a isso, a atual condição econômica estimula as organizações a conciliarem as novas expectativas do mercado com os momentos de crise. Dessa forma, as empresas vêm estudando novas maneiras de obter vantagens competitivas, de modo a conquistar e manter os clientes sem comprometer o orçamento da organização.

Todas as áreas de uma empresa possuem responsabilidade no que se refere ao ganho da vantagem competitiva. Logo, as atividades da logística também devem ser planejadas de modo eficiente. Durante muito tempo a logística foi vista apenas como uma atividade de apoio, porém, esse contexto mudou e hoje a mesma é percebida como um dos fatores essenciais para a criação da estratégia corporativa. Em resumo, os compostos logísticos, devido à capacidade que possuem de prever e ofertar produtos nas quantidades desejadas, no local exato e no tempo correto, quando associados a estratégia, proporcionam vantagem competitiva para as empresas (BULLER, 2012; NOVAES, 2015).

Ainda devido à globalização e à expansão dos mercados, ocorreu um aumento da quantidade de tipos de produtos existentes. Sendo assim, os consumidores deixaram de pedir lotes maiores em uma menor frequência e começaram a pedir lotes menores com maior variedade de produtos em uma frequência de envio maior (ROODBERGEN; VIS, 2009). Essa transformação no padrão de pedido dos clientes permite com que eles trabalhem com níveis de estoques menores. Contudo, exige das empresas fornecedoras prazos de entregas mais curtos e uma maior disponibilidade do produto, afinal a ausência desse para o cliente significa a perda de vendas.

Este cenário requer um melhor alinhamento entre os elos da cadeia de suprimentos e a utilização de um sistema de pontos de apoio que consiste em instalações de armazenagens localizadas adequadamente próximo aos clientes. Bem como, uma gestão da armazenagem eficiente para proporcionar maior produtividade

nos armazéns e, conseqüentemente, entregas mais rápidas. A integração entre a operação de armazenagem e o composto logístico deve suceder de modo completo, pois trata-se de um fator relevante para a continuidade e equilíbrio do fluxo de materiais no decorrer da cadeia de suprimentos.

Entre as atividades de um armazém, a coleta e seleção de pedidos é a que mais demanda tempo devido ao tempo gasto na localização dos produtos e nas movimentações de coleta. Pode-se dizer que essa atividade é a que está mais sujeita a ineficiências. Todavia, existem diversos modos de se melhorar a atividade de seleção de pedidos, tais como: alteração do arranjo físico, utilização de métodos de roteamento, agrupamento de pedidos, zoneamento ou ainda pela alocação eficiente dos produtos no armazém.

Tomadas de decisão no âmbito da armazenagem afetam os indicadores de um armazém e, conseqüentemente, a produtividade do mesmo, além de também afetar o nível de serviço e os custos relacionados ao fornecimento desse nível de serviço (FONTANA; CAVALCANTE, 2013). No presente estudo serão revisados conceitos da operação de armazenagem, as atividades que a compõem e maneiras de melhorar a eficiência dessa operação. Além disso, se aplicara procedimentos para a classificação e alocação dos tipos de produtos no armazém e se simulará a atividade de coleta de pedidos, de modo a indicar o procedimento que proporciona a menor distância percorrida. Sendo assim, a intenção é proporcionar um melhor nível de serviço com custos operacionais mais baixos, promovendo vantagens competitivas para as organizações.

1.1 PROBLEMA

O crescente aumento da competitividade fez com que as organizações buscassem possuir altos volumes de produção e distribuição. No entanto, baixos níveis de estoque no decorrer da cadeia exigem maior rapidez na entrega (GUERRIERO et al., 2013). Encontra-se nesse cenário a restrição relacionada a cadeia logística, mais especificamente ao sistema de armazenagem. As organizações estão menos propensas a possuir níveis de estoques maiores e os clientes passaram a realizar pedidos menores, com maior variedade de produtos e em maior frequência.

A solução mais adequada encontrada foi em se utilizar procedimentos de reabastecimento contínuo nos armazéns, contudo, tais procedimentos aumentam a necessidade da atividade de coleta de pedidos (ALVES, 2014). Logo, uma execução ineficiente da seleção de pedidos influencia negativamente o nível de serviço fornecido para o cliente.

Durante a coleta de um lote de pedidos, o operador está sujeito a restrição ocasionada pela capacidade máxima do equipamento de coleta. Quando o equipamento estiver no limite de sua capacidade, o coletor deve retornar ao ponto de entrada e saída do armazém para descarregá-lo, para então continuar com a coleta dos pedidos. Contudo, o operador sempre procurará atingir a capacidade máxima do equipamento de coleta. Dessa forma, se mesmo após coletar toda a quantidade necessária de um tipo de produto, o equipamento ainda possuir capacidade ociosa, o operador coletará o próximo item da lista.

Portanto, percebe-se que a limitação da capacidade do equipamento aumenta a distância percorrida pelo coletor e, conseqüentemente, o tempo de operação. Esse contexto sugere o seguinte questionamento: “Qual a influência de disposições internas dos produtos, que consideram a capacidade máxima do equipamento de coleta, sobre a distância total percorrida?”.

1.2 JUSTIFICATIVA

No decorrer dos anos, no que se refere às decisões sobre a estrutura logística nacional, os governos políticos optaram por um maior investimento no modal rodoviário. Essa situação dificulta uma utilização mais equilibrada das opções de transporte (rodoviário, ferroviário, hidroviário e aéreo). A demora na transição para um cenário ideal está associada ao alto investimento necessário em infraestrutura e ao tempo necessário para a conclusão dessas obras (MAIA JUNIOR, 2012). Desse modo, torna-se pertinente observar os custos logísticos nacionais para analisar a influência das decisões políticas sobre o sistema logístico. Segundo Fleury, Wanke e Figueiredo (2000, p. 30), “[...] embora não existam levantamentos específicos, estima-se que no Brasil os gastos com as atividades logísticas correspondam a cerca de 17% do PIB”.

Outros motivos que colaboram para o aumento dos custos logísticos, especialmente os custos de transporte, são o aumento do preço do combustível, os custos relacionados a manutenção da frota e os engarrafamentos nas estradas (MADADI; KURZ; ASHAYERI, 2009).

Devido à dificuldade na redução dos custos de transporte, uma possibilidade que surgiu para diminuir os custos logísticos foi por intermédio da redução dos custos internos das empresas. De acordo com Ene e Öztürk (2012) as operações dentro do armazém correspondem a aproximadamente 20% dos custos de logística do setor privado. A armazenagem, se executada de maneira eficiente, proporciona a redução dos custos e das movimentações e, conseqüentemente, o aumento da rapidez no atendimento do pedido, além de oferecer diversos outros benefícios à organização (OLIVEIRA et al., 2011).

Com as mudanças no funcionamento do mercado e nas expectativas esperadas pelos clientes em relação ao serviço logístico, uma gestão da armazenagem mais eficiente se mostra cada vez mais importante. Aumentou-se a quantidade de produtos existentes, com diferentes formatos, embalagens e sabores. Dessa forma, os clientes passaram a pedir lotes menores, no entanto, com maior variedade de produtos. Eles também perceberam que conseguiam aumentar a receita se utilizassem o espaço disponível para comercializar e não para estocar (RAMOS; MELO, 2003; LI, 2007; SORIANO, 2013).

Entretanto, devido aos clientes estarem trabalhando com níveis baixos de estoques, uma entrega atrasada do fornecedor significa a ausência do produto e, conseqüentemente, a perda da venda (SORIANO, 2013). Neste contexto, os gerentes de operações entenderam que possuir uma armazenagem eficiente é um elemento chave para o aumento da competitividade da organização e da cadeia de suprimentos (ANG; LIM; SIM, 2012; SORIANO, 2013).

Das atividades relacionadas com a gestão da armazenagem, a coleta de pedidos é a atividade que mais necessita de mão-de-obra, principalmente na dinâmica atual do mercado, com uma maior quantidade e variedade de produtos (TOMPKINS et al., 2010; CHIANG; LIN; CHEN, 2011). Segundo Tompkins et al. (1996) a atividade de seleção de pedidos representa 55% dos custos operacionais de um armazém. Para Coyle et al. (1996) o custo da atividade de seleção de pedidos pode representar uma porcentagem ainda maior, a cerca de 50 a 70% do custo total de todas as atividades do armazém.

A necessidade intensa de mão-de-obra e a quantidade de atividades relacionadas a gestão da armazenagem, torna a coleta dos pedidos um problema para a realização de uma entrega mais rápida para os clientes. Sendo assim, melhorar a eficiência da coleta e seleção de pedidos por meio da redução da distância percorrida pelo coletor pode aumentar o nível de serviço e reduzir os custos associados (CHIANG; LIN; CHEN, 2011).

A partir desse entendimento, trabalhos anteriores utilizaram-se de quatro maneiras para melhorar a eficiência da atividade de seleção de pedidos por meio da redução do tempo e da distância percorrida durante a coleta: definição de um caminho de coleta de pedidos eficiente (*Order Picking Routing*), zoneamento do armazém (*zoning*), consolidação de pedidos em lotes e designação dos tipos de produtos a locais de armazenagem adequados (*Storage Location Assignment*) (ROODBERGEN; DE KOSTER, 2001). O presente trabalho possui o foco principal na redução da distância total percorrida por meio da aplicação de métodos de designação dos locais de armazenagem. Segundo Ballou (2006), uma alocação adequada dos produtos no armazém proporciona a solução de algumas restrições relacionadas a localização dos mesmos.

Para determinar a forma mais adequada de localizar os tipos de produtos no armazém utiliza-se de alguma política de armazenamento (*Storage Assignment Policy – SAP*). Os métodos de designação de locais de armazenagem são classificados em alguma das políticas. Diversos autores abordaram o problema de designação dos locais de armazenagem (*Storage Location Assignment Problem - SLAP*) utilizando a política de armazenamento baseada em classe (MUPPANI; ADIL, 2008a, 2008b; CHAN; CHAN, 2011; FONTANA; CAVALCANTE, 2013). No entanto, poucos foram os autores que consideraram as restrições dos equipamentos utilizados para a coleta na modelagem do problema.

Karasawa, Nakayama e Dohi (1980) propõem um método para otimizar as dimensões do armazém, no qual as variáveis de decisão eram a altura e o comprimento das prateleiras de armazenamento. O objetivo do modelo era minimizar o custo do sistema considerando como restrição a existência de apenas um equipamento de coleta. Ashayeri, Gelders e Wassenhove (1985) expandem o problema de Karasawa, Nakayama e Dohi (1980), ao assumirem a possibilidade da utilização de mais equipamentos de coleta e ao considerarem a restrição de capacidade dos equipamentos. Dada a produção e a altura do armazém, buscava-se

encontrar a quantidade ótima de equipamentos de coleta, bem como o comprimento e a largura ideais do armazém.

Contudo, ambos os trabalhos eram relacionados aos âmbitos da dimensão do armazém e do *layout* de departamento, e nada relatavam sobre o âmbito das estratégias operacionais, como os métodos de designação dos locais de armazenagem. O principal diferencial do presente trabalho é considerar que a restrição de capacidade de carga do equipamento pode influenciar a distância total percorrida durante a atividade de coleta de pedidos, dependendo de como os produtos estão alocados no armazém.

Huang, Oh e Cha (2003) elaboraram e utilizaram o índice *Density-Turnover* (*Density-Turnover Index* - DTI). Esse índice considera a massa, contudo, o critério de classificação é o próprio índice. Utilizar a densidade como critério não garante uma priorização dos produtos com maior massa, pois produtos pequenos, mesmo que densos, podem ser relativamente leves. O presente trabalho não considera as dimensões dos produtos. Entendida a importância do tema para o contexto empresarial, na próxima seção será apresentado o objetivo geral desse estudo.

1.3 OBJETIVO GERAL

Avaliar diferentes procedimentos de designação dos locais de armazenagem buscando a menor distância total percorrida durante a coleta de pedidos.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

De modo a cumprir com o objetivo geral estipulou-se os seguintes objetivos específicos:

- Realizar o levantamento bibliográfico dos estudos relacionados ao tema;
- Definir as características físicas do armazém para estudo, a fim de realizar a modelagem computacional para a simulação;
- Aplicar os procedimentos de designação dos locais de armazenagem;
- Simular a operação de coleta de pedidos;

- Comparar e analisar os resultados obtidos na simulação.

1.5 DELIMITAÇÃO DO TEMA

O presente estudo está concentrado no campo da logística, especificamente na gestão de armazéns, em conjunto com conceitos de arranjo físico. A operação de um armazém é constituída pelas atividades de recebimento, transferência, armazenamento, coleta de pedidos e por fim o envio. O presente trabalho foca na melhoria da atividade de coleta de pedidos por meio de uma alocação mais adequada das famílias de produtos no armazém.

O local onde será realizada a aplicação dos métodos e a comparação entre eles por meio da simulação da coleta de produtos, consiste em um armazém proposto. O arranjo físico e dimensões do modelo foram sugeridos a partir de uma pesquisa bibliográfica sobre o assunto. A estratégia de organização da atividade de coleta será a coleta em lotes *pick-and-sort*, na qual primeiro coleta-se e depois separa-se os tipos de produtos em pedidos dos clientes. O presente estudo não simulará a etapa adicional de consolidação dos pedidos. Desse modo, não pertence ao escopo desse trabalho a observação e análise da etapa de consolidação de pedidos dos clientes.

Para fins didáticos e para ampliar a aplicabilidade dos procedimentos de classificação e alocação empregados nesse trabalho, a capacidade do equipamento de coleta e a massa dos tipos de produtos são apresentadas em unidades de massa (u.m.) ao invés de alguma unidade de medida convencional. A atividade de coleta será realizada manualmente por apenas um coletor utilizando um carrinho elétrico com capacidade máxima de 3000 u.m.

O trabalho está orientado para a designação de locais de armazenamento para produtos com características associadas. Portanto, o problema de designação de locais de armazenagem desse trabalho é baseado em informações dos produtos. E a política de armazenamento empregada é a política baseada em classe.

Os critérios utilizados para a classificação e alocação dos tipos de produtos nos procedimentos aplicados serão a demanda mensal e a massa dos produtos. Desse modo, outros critérios relacionados a informações dos produtos, como volume, formato ou odor não estão inclusos no escopo desse trabalho.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho é estruturado em 6 capítulos. O primeiro capítulo apresenta o tema, contextualizando-o no cenário atual, e também mostra as justificativas e os objetivos do estudo. No segundo capítulo encontra-se os embasamentos teóricos, divididos em subáreas do tema, necessários para fundamentar e compreender o trabalho. O Capítulo 3 define a metodologia utilizada para a realização dessa pesquisa. No Capítulo 4, descreve-se a execução e o desenvolvimento dos procedimentos relatados na metodologia, de modo a melhorar a compreensão dos métodos utilizados. As análises dos resultados são apresentadas no quinto capítulo. Nesse capítulo identifica-se qual foi o procedimento de designação de locais de armazenagem mais eficiente na melhoria da atividade de coleta de pedidos. E por fim, no Capítulo 6, obtém-se considerações e conclusões a partir das análises dos resultados.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Para a realização deste trabalho de conclusão de curso é essencial que sejam abordadas as noções teóricas necessárias para fundamentá-lo. Portanto, o presente capítulo irá dissertar sobre o conceito da logística, sua evolução e as operações que a compõe. O processo de armazenagem e a importância dos estoques na cadeia de suprimentos também serão apresentados. Aprofundando no tema serão abordadas as definições de instalações de armazenagem, bem como os componentes que constituem seu *layout*. E por fim, especialmente, será abordado sobre a localização dos produtos no armazém, onde serão abordados as políticas de armazenamento e os métodos de designação dos locais de armazenagem.

2.1 LOGÍSTICA

Na antiguidade a maioria das civilizações não se localiza próximo de onde as mercadorias e alimentos mais consumidos eram produzidos, estes por estarem espalhados em territórios mais distantes poderiam não estar fartos e acessíveis nos períodos de maior demanda. É nesse período que surge, a partir da necessidade das civilizações de transportar e armazenar mercadorias, as primeiras atividades logísticas (BALLOU, 2006; SORIANO, 2013).

As sociedades buscaram no decorrer da história ampliar seus territórios e atender suas necessidades econômicas por intermédio de guerras. Para que os exércitos não fossem derrotados pelos rivais, as guerras incentivaram as sociedades estudarem a maneira mais eficiente de suprir as tropas (SHIH, 2005). Segundo Buller (2012), apesar da logística ter sido utilizada desde os tempos mais antigos, os estudos logísticos que possuem suma importância para as corporações de bens e serviços são oriundos do meio militar.

No escopo empresarial, a logística é aplicada para auxiliar a gestão descobrir como reduzir os custos e aumentar o nível de serviço oferecido para os clientes, utilizando-se do planejamento e coordenação dos processos de armazenagem e movimentação que almejam a facilitação dos fluxos (BALLOU, 1993). A logística é talvez a atividade mais complexa em uma organização, pois procura em tempo

integral tornar disponível o que é preciso nos locais necessários e no tempo correto (BOWERSOX et al., 2014).

Corroborando com esse conceito, o Council of Supply Chain Management Professional (CSCMP, 2013) afirma que:

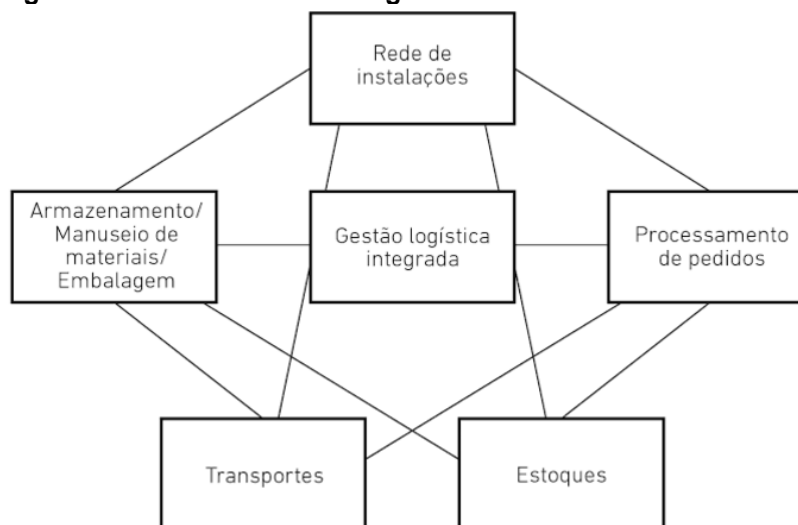
A gestão logística é a parte do gerenciamento da cadeia de suprimentos que planeja, implementa e controla de forma eficiente e efetiva os fluxos diretos e reversos, o armazenamento de bens, os serviços e informações relacionadas entre o ponto de origem e o ponto de consumo para atender às necessidades dos clientes.

No entanto, no passado a complexidade da logística não era completamente compreendida, como relatam Martins e Alt (2009, p. 325) “até poucos anos atrás, o termo logística continuava associado a transportes, depósitos regionais e atividades ligadas a vendas”. Durante anos os conceitos logísticos foram relacionados apenas ao transporte e a armazenagem, mas com mudanças no mercado hoje a logística é tida como componente essencial para criação da estratégia das empresas (NOVAES, 2015).

Sistemas logísticos, pela capacidade de prever e providenciar recursos nas quantidades precisas, na localização exata e no momento desejado, quando alinhados com a estratégia corporativa trazem vantagem competitiva (BULLER, 2012). A logística precisa realizar diversas atividades para alcançar o objetivo de tornar bens e serviços disponíveis onde são necessários e no tempo correto, bem como, também deve definir o início e fim de cada uma dessas atividades (SORIANO, 2013).

A logística empresarial é constituída de todas as atividades relacionadas ao deslocamento e armazenagem, tais como: transporte, manutenção de estoques, processamento de pedidos, manuseio de materiais e a própria armazenagem. Estas que realizam a ponte entre a aquisição da matéria-prima e o mercado consumidor que são separados pela distância e tempo (BALLOU, 1993; LIU, 1999). Completando esta divisão de atividades, Bowersox et al. (2014) agrupam armazenagem com manuseio de materiais acrescentando a operação de embalagem e a área de rede de instalações. Os autores ainda exemplificam com um esquema visual as relações entre as cinco áreas do trabalho logístico, conforme apresenta a Figura 1.

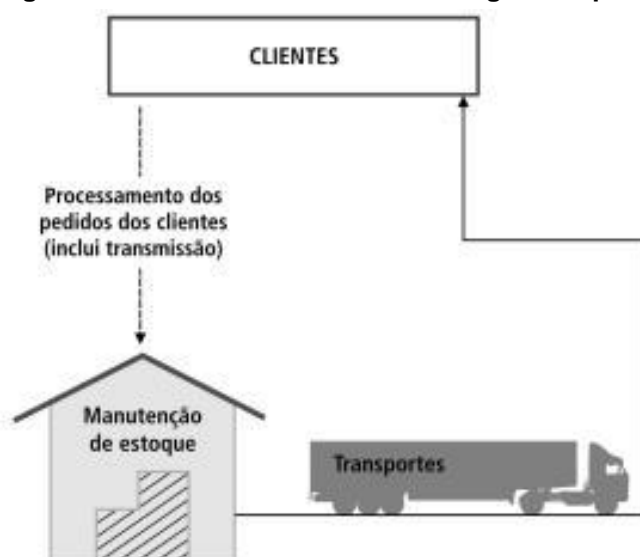
Figura 1 - Áreas do trabalho logístico



Fonte: Bowersox et al. (2014)

As atividades de transporte, manutenção de estoques e processamento de pedidos são qualificadas como primárias porque são as principais responsáveis pelos custos e são fundamentais para a execução da tarefa logística. As atividades primárias são encarregadas da facilitação dos fluxos de informação associados que permitem os bens e serviços se movimentarem, bem como possuem demasiada relevância no que chamamos de “ciclo crítico de atividades logísticas”, como mostra a Figura 2 (BALLOU, 1993).

Figura 2 - Ciclo crítico de atividades logísticas primárias

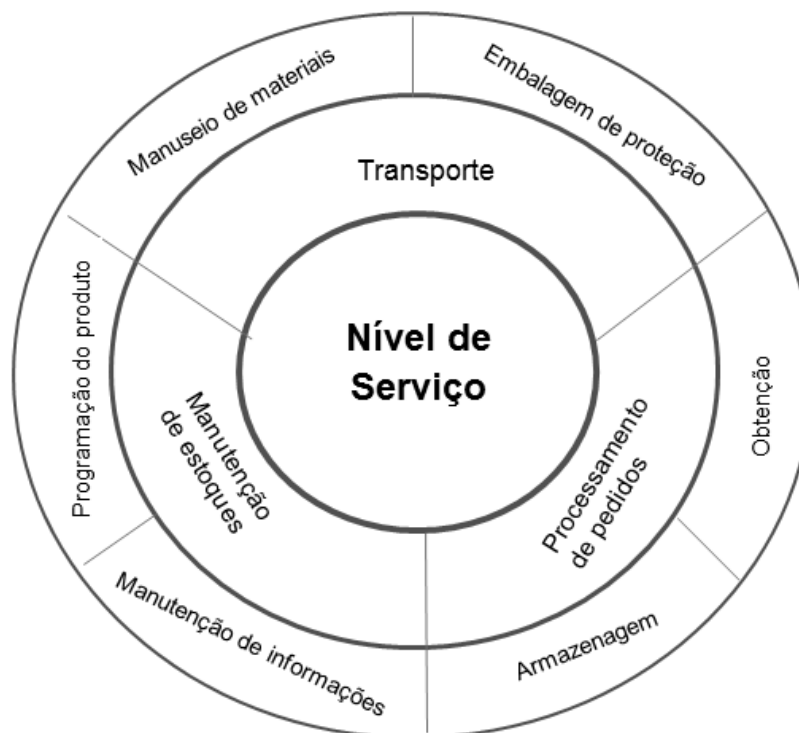


Fonte: Ballou (1993)

A gestão das corporações começou a se preocupar com o planejamento e alinhamento do conjunto de atividades incentivada pela redução dos custos, que é um

dos principais objetivos das empresas que desejam aumentar o lucro. Contudo, as atividades primárias não são as únicas responsáveis pelo controle da tarefa logística e pelo cumprimento dos objetivos de custo e nível de serviço, elas são auxiliadas por diversas atividades adicionais denominadas atividades de apoio, conforme mostrado na Figura 3 (BALLOU, 1993; SORIANO, 2013).

Figura 3 - Relações entre as atividades logísticas primárias e de apoio



Fonte: Ballou (1993)

As expectativas esperadas em relação ao serviço logístico mudaram. Os clientes começaram a exigir entregas ainda mais rápidas e uma maior disponibilidade dos produtos, envolvendo um processamento mais ágil dos pedidos, estimulando a competitividade do mercado. Em resposta a isso as empresas adotaram novas tecnologias, práticas e maneiras de executar as atividades logísticas que acabaram por também aumentar o nível de serviço esperado (BALLOU, 2006). As organizações que proporcionam um melhor nível de serviço para seus clientes através da eficiência logística conquistam vantagens competitivas. A logística deve ser gerenciada de modo a balancear o nível de serviço com os custos logísticos (BOWERSOX et al., 2014).

No entanto, para obter o máximo de vantagens competitivas faz-se necessário a execução integrada dos processos logísticos. A otimização de cada atividade

isolada é relevante apenas quando provoca melhoria na eficiência e eficácia de todo o sistema de atividades integradas (BOWERSOX; CLOSS, 2007). As atividades devem ser estruturadas de modo que exista um alinhamento com o posicionamento estratégico. Então deve haver um encaixe das atividades, seja pela integração simples dessas ou então de modo que uma atividade reforce ou aperfeiçoe as outras. Dessa forma a vantagem competitiva resulta de todo um sistema de atividades que auxilia também na própria sustentabilidade da vantagem (PORTER, 1996).

O encaixe das atividades logísticas é denominado de logística integrada, essa que é formada por competências, conhecimentos e procedimentos que compreendem os três níveis organizacionais, estratégico, tático e operacional. Esse método de administração contribui para que as empresas se posicionem de modo competitivo no mercado, utilizando-se de modelos de negócio diferenciados (MUSSETTI, 2001).

O alinhamento e encaixe apenas das operações do escopo interno à organização, mesmo que importante, não é suficiente para o cumprimento das metas de desempenho. As organizações devem ampliar a integração logística, envolvendo clientes e fornecedores, para assegurarem total eficácia no alcance dos objetivos empresariais. Essa integração externa, representa a aplicação da logística do ponto de vista mais amplo da gestão da cadeia de suprimentos. Compreendendo esse conceito, percebe-se que a competição deixa de ser apenas entre organizações e passa a ser entre cadeias de suprimentos (TRKMAN et al., 2010; BOWERSOX et al., 2014).

Neste contexto de englobar clientes e fornecedores, a principal dificuldade é justamente a integração entre as operações logísticas de diferentes empresas. Para facilitar a integração as empresas participantes da cadeia de suprimentos devem estar dispostas a trabalhar unidas desde o planejamento até a implementação e execução das operações. A integração entre os elos da cadeia de suprimento é denominada de sincronização da cadeia de suprimentos (BOWERSOX et al., 2014).

Compreende-se então que a cadeia de suprimentos consiste na execução contínua do conjunto de atividades logísticas no decorrer da cadeia produtiva, criando valor percebido ao cliente (BALLOU, 2006). Dessa forma, o objetivo da gestão da cadeia de suprimentos também é auxiliar as organizações a gerenciar os fluxos de

produtos, serviços, capital e informação desde a aquisição da matéria-prima até o consumidor final (VIJAYASARATHY, 2010; SHIH et al., 2012).

A realização de compra pelo consumidor final é a ação que inicia o conjunto de atividades, acionando a movimentação de materiais e o fluxo de informações. Posterior a compra do cliente, o varejista solicita ao atacadista, por intermédio de uma informação de compra, a reposição do produto. O atacado após o abastecimento do varejo, também emite uma informação de reposição. Esse processo se repete consecutivamente passando pela indústria até os fornecedores de matéria-prima, incluindo também as transportadoras (SORIANO, 2013). A gestão da cadeia de suprimentos expande o conceito de logística integrada, uma vez que ela ressalta as relações entre os setores de logística, produção e marketing de uma organização e entre esses mesmos setores em organizações diferentes no mesmo canal produtivo (BALLOU, 2006).

A partir do entendimento de que os clientes agora exigem entregas imediatas e uma maior disponibilidade dos produtos, compreende-se que as empresas que oferecem o melhor nível de serviço possuem vantagens competitivas. Para cada atividade considerada primária existem diversas atividades de apoio que contribuem igualmente para o atingimento do objetivo de nível de serviço (BALLOU, 1993; BOWERSOX; CLOSS, 2007).

O fluxo de materiais no decorrer do processo logístico integrado é dividido em diversos fluxos entre os elos da cadeia. Nessas conexões, devido às flutuações da demanda, faz-se necessário manter produtos armazenados por um determinado período. O tempo em estoque pode ser curto, o necessário para fazer a ordenação e separação dos produtos nas docas de recebimento e envio para as docas de expedição, bem como pode também ser longo (NOVAES; ALVARENGA, 1994). Contribuindo para esse processo, a armazenagem é uma atividade de apoio da logística que garante o sucesso no atendimento dos clientes.

2.2 ARMAZENAGEM

Pozo (2016) define a armazenagem como o gerenciamento da área necessária para manter os estoques. De acordo com Ballou (1993, p. 27), a

armazenagem também engloba os "problemas como localização, dimensionamento da área, arranjo físico, recuperação do estoque, projeto de docas ou baias de atracação e configuração do armazém".

A atividade de armazenagem é responsável pela designação de um local apropriado e seguro onde os produtos serão acondicionados por determinado tempo, para depois serem movimentados de forma eficiente, sem afetar o estado físico dos mesmos. Contudo, a armazenagem não apenas corresponde a gestão do espaço usado para armazenamento, para que esse seja utilizado de modo ordenado e lógico, mas também do tempo necessário para a execução dos processos no armazém (RODRIGUES, 2007; BANZATO et al., 2010).

No decorrer dos anos a área de armazenagem parou de ser observada apenas como uma atividade de apoio e uma fonte de custos relacionada a guarda de componentes para ser vista como uma fonte significativa de vantagens competitivas para a organização, proporcionando um melhor gerenciamento do fluxo de materiais e informações no armazém (WANKE, 2010; SORIANO, 2013). A importância da armazenagem consiste no fato de ser um sistema de fornecimento que sustenta a continuidade e homogeneidade dos fluxos logísticos, garantindo um nível de serviço apropriado e atribuindo valor ao produto. Em resumo, a gestão da armazenagem busca controlar todas as atividades relacionadas ao fluxo de materiais e informações no armazém (BARROS, 2005; TINELLI, 2013).

As atividades básicas do processo de armazenagem são: recebimento, transferência, armazenamento, guarda e proteção, seleção e coleta de pedidos, classificação, e por fim o envio. A atividade de seleção e coleta de pedidos é a que mais necessita de mão-de-obra quando os armazéns possuem sistemas de coleta manual (DE KOSTER; LE-DUC; ROODBERGEN, 2007).

Essas atividades fundamentais do sistema de armazenagem são agrupadas em duas operações básicas: o armazenamento propriamente dito e o manuseio de materiais. O armazenamento está relacionado ao abrigo e proteção (manutenção) dos produtos, bem como a consolidação de cargas menores em maiores e o fracionamento de volumes para baldeação. Ao passo que o manuseio de materiais possui as funções de separação dos pedidos e de carga e descarga (BALLOU, 2006). A operação de manuseio de materiais também compreende as movimentações correspondentes ao transporte de matérias-primas ou componentes do estoque para

o processo produtivo, desse para o estoque de produtos acabados ou entre armazéns (POZO, 2016).

As atividades de recebimento e expedição correspondem aos extremos do fluxo de materiais no sistema de armazenagem, então é necessário saber alguns conceitos relacionados a essas atividades. Em armazéns de *cross-docking*, os materiais recebidos não são armazenados e passam diretamente das docas de recebimento para as docas de expedição. Nos armazéns tradicionais, que possuem estoques, os materiais recebidos são armazenados para depois serem coletados e transportados até as docas de expedição (GU; GOETSCHALCKX; MCGNNIS, 2007). Soriano (2013) retrata na Figura 4, de maneira esquematizada e lógica as atividades do fluxo de materiais no armazém.

Figura 4 - Fluxo de materiais no armazém tradicional



Fonte: Soriano (2013)

Quando existe o inventário, a gestão das atividades de recebimento e expedição é mais complexa devido à associação com as atividades de armazenamento, ordenação e coleta. A tomada de decisão nessas operações é restrita pela quantidade e qualidade das informações sobre os envios recebidos e às demandas dos clientes. O processo de armazenagem é modelado por três decisões básicas: qual a quantidade mantida de estoque no armazém; com qual periodicidade

e em que tempo realizar a reposição do estoque; e onde o item deve ser armazenado (GU; GOETSCHALCKX; MCGNNIS, 2007).

Para que o fluxo de armazenagem se complete as movimentações possuem suma importância. No entanto, essas demandam tempo, mão de obra e manutenção devido aos desgastes nos equipamentos, então para reduzir o tempo de atendimento e os custos relacionados, é necessário minimizar as distâncias percorridas nessas movimentações (POZO, 2016).

Uma decisão importante no que se refere à redução dos custos do manuseio de materiais, e que apresenta relevância no gerenciamento do armazém, é a escolha dos equipamentos de movimentação. Os equipamentos são divididos em três grupos amplos. Os manuais apesar do baixo custo e da flexibilidade, possuem a utilização limitada pelo atributo força do operador. O uso desses equipamentos é aconselhado apenas quando o *mix* de produtos está em constante mudança no armazém ou quando o volume que transita entre os setores é baixo. Os mistos são mais rápidos no manuseio de materiais e aumentam a produtividade por hora trabalhada, no entanto, precisam de mão de obra especializada para a operação. O mais utilizado nessa categoria é a empilhadeira mecânica. Por último, existem os equipamentos automatizados e controlados por computadores, que proporcionam alta eficiência e uma maior produtividade do armazém, mas necessitam de um alto investimento (BALLOU, 2006).

Compreendido que a armazenagem e sua gestão são responsáveis por assegurar a uniformidade e continuidade dos fluxos de materiais e informações no processo logístico, faz-se necessário entender o porquê e como isso ocorre, bem como, qual é a importância dos estoques nesse contexto.

2.3 A IMPORTÂNCIA DOS ESTOQUES

Os estoques na cadeia de suprimentos agregam valor ao produto perante o cliente, porque quando gerenciados de modo adequado e eficiente possibilitam atender com mais rapidez a demanda no momento requerido (SORIANO, 2013). Dessa forma, os inventários, de acordo com Martins e Alt (2009), são responsáveis por regular o fluxo de produção e de vendas.

Soriano (2013) afirma que devido ao alto fluxo de materiais e informações, as decisões tomadas em uma organização geram consequências que se espalham para as demais empresas da cadeia de suprimentos. Os clientes (varejo) estão pedindo lotes de tamanhos menores, com maior variedade de produtos, assim como prazos de entregas mais curtos, isso faz com que eles fiquem menos predispostos a manter estoques. Os clientes constataram que conseguiam reduzir os custos de armazenagem e aumentar a receita se utilizassem a área disponível para comercializar em vez de estocar (RAMOS; MELO, 2003; LI, 2007). Esse fato resulta em cadeias mais responsivas, ou seja, forçando a utilização de estoques em elos anteriores na cadeia de suprimentos (CHOPRA; MEINDL, 2011).

Contudo, os clientes por estarem trabalhando com níveis baixos de estoques exigem de seus fornecedores prazos de entregas menores e estão menos flexíveis no que diz respeito a erros. Por possuírem níveis baixos de estoques, o atraso na entrega do pedido pelo fornecedor significa a ausência do produto e a perda da venda (SORIANO, 2013).

Segundo Ballou (2006) existem quatro motivos básicos que incentivam as organizações a possuírem estoques:

- Reduzir os custos de transporte e produção: Mesmo que os estoques representem custos extras, a redução de custos de transporte e produção ocorre pelo aumento da eficiência nesses processos;
- Coordenar oferta e demanda: Algumas organizações, mesmo possuindo variabilidade da demanda, mantêm suas produções constantes. Desse modo, os estoques são usados para atender imediatamente as flutuações na demanda;
- Assessorar no processo de produção: Alguns produtos precisam ser armazenados durante o processo produtivo;
- Colaborar no processo de comercialização: Inserção de armazéns próximos aos mercados consumidores.

Sobre a colaboração no processo de comercialização e redução dos custos de transporte, como normalmente os fornecedores estão localizados geograficamente distantes do mercado consumidor, a existência de estoques apenas na indústria e o não uso de Centros de Distribuição (CD) acarreta um tempo de espera mais longo para o consumidor. Assim como, quando o consumidor está distante do processo produtivo uma distância maior deverá ser percorrida para a entrega do produto,

umentando os custos de transporte. Portanto é interessante localizar armazéns próximos aos maiores mercados consumidores. Em consequência da proximidade, consegue-se melhorar os dois aspectos, o aumento do nível de serviço devido à redução no tempo de entrega do produto para o consumidor final e a redução dos custos de transporte por causa da redução da distância percorrida (SORIANO, 2013).

Os estoques também possibilitam uma redução do custo de produção devido aos lotes econômicos e a compra adiantada de matéria prima diante da previsão de aumento de preço ou a compra de quantidades maiores com desconto. A política de estoque prepara as organizações para enfrentar imprevistos como atrasos dos fornecedores, desastres naturais e greves (BALLOU, 2006).

Logo, se cada organização soubesse com precisão a demanda de seus clientes e se fosse possível prever completamente sua variação, não seria preciso a existência de estoques. Se a entrega do produto acontecesse exatamente no momento que fosse demandado, a armazenagem do mesmo, independente de qual produto, seria desnecessária. Todavia, como geralmente não se pode prever com total clareza a demanda, além da existência de outros fatores que influenciam o sistema, a utilização de instalações de armazenagem torna-se indispensável (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 1999; BAUDIN, 2004).

2.4 INSTALAÇÕES DE ARMAZENAGEM

Tendo em conta que a inexistência completa dos estoques não é realidade no âmbito da cadeia de suprimentos, o armazém torna-se elemento fundamental para qualquer cadeia. As responsabilidades do armazém são: controlar e coordenar variações causadas pela sazonalidade do produto e transporte, consolidação de produtos para a distribuição conjunta para os clientes e ainda de atribuição de valor por intermédio de kits, personalização e rotulagem (PORTER, 1986).

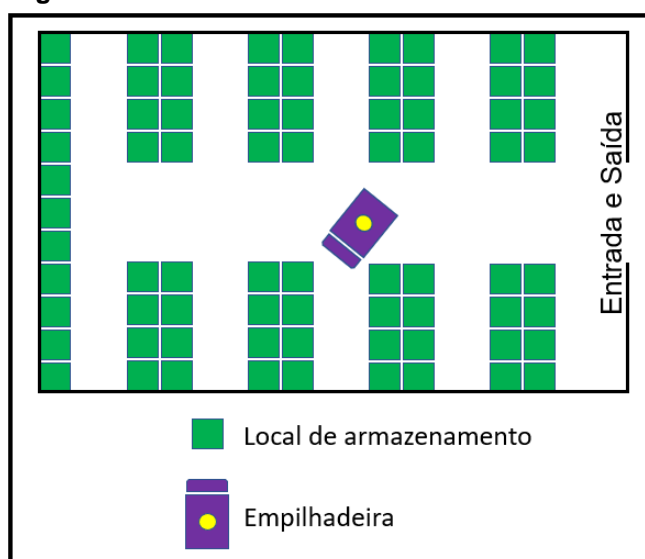
O funcionamento de um armazém está sustentado no processo de armazenagem, e compõe-se principalmente das atividades de recebimento, movimentação, estocagem e expedição dos produtos (TRINDADE, 2016). Essa sequência de atividades também é apresentada por De Koster, Le-Duc e Roodbergen

(2007) e foi esquematizada por Soriano (2013) no que ele se refere como fluxo de materiais no armazém.

Em todo armazém existe a escassez de três recursos em específico: espaço, equipamentos e pessoas. O armazém possui como propósito maximizar a utilização dos recursos de modo eficiente lembrando sempre de atender o cliente (MOURA, 1997). Dessa forma, a otimização e administração dos armazéns, mesmo sendo uma atividade de apoio, possui demasiada relevância para toda a cadeia de suprimentos (DOLAVALE, 2010).

A Figura 5 ilustra a perspectiva superior de um armazém tradicional. Os pequenos quadrados representam, como mostrado na legenda, as seções de armazenamento, que são encarregados pelo acondicionamento temporário dos produtos. Essas seções posicionadas juntas formam as prateleiras, que são separadas por corredores.

Figura 5 - Formato de um armazém tradicional



Fonte: Adaptado de Askin e Standridge (1993)

Contudo, referente a estrutura dos armazéns, é interessante diferenciar algumas nomenclaturas usadas nesse contexto. Quando se utiliza o termo galpão refere-se apenas a estrutura física, sem considerar nenhuma atividade de armazenagem. Os locais situados nas organizações, onde ficam armazenados os itens de uso interno, como materiais de escritório e peças para reposição, são denominados almoxarifados, e não possuem nenhuma associação com o processo logístico. Por fim, os armazéns, também conhecidos como depósitos, contribuem

diretamente no processo logístico e estocam desde matéria-prima e componentes até produtos acabados (CALAZANS, 2001).

Ballou (1993, p. 158) relata que os “depósitos prestam quatro classes principais de serviços ao usuário”. Os serviços são:

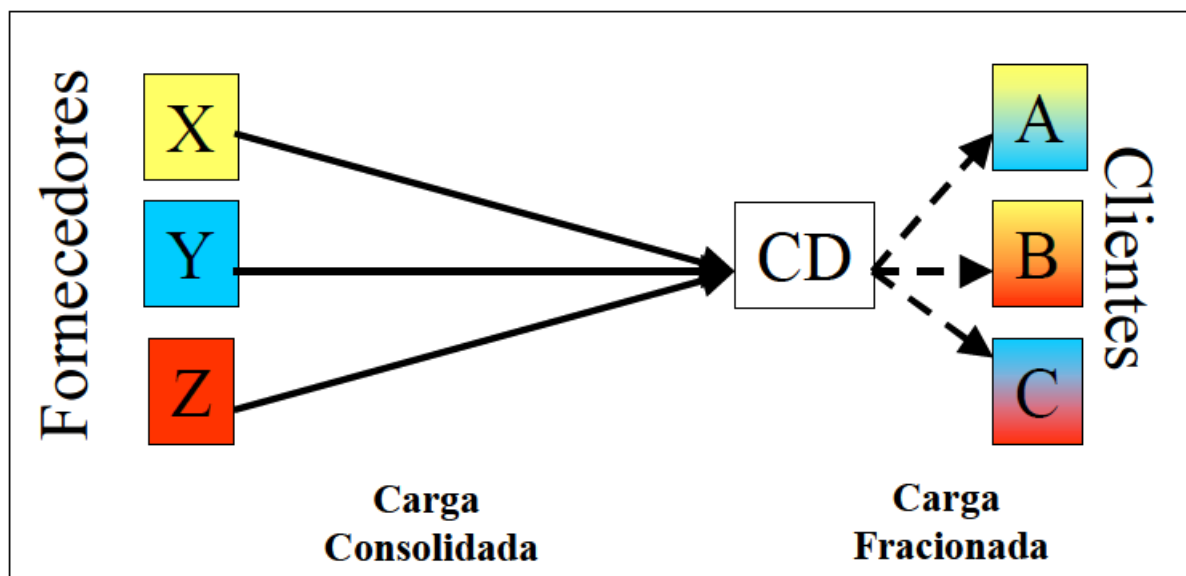
- Abrigo de produtos: a utilização mais óbvia dos depósitos certamente é a proteção dos inventários. Os depósitos garantem o abrigo para os produtos, bem como outros serviços relacionados.
- Consolidação: o modo que é realizado a cobrança dos fretes, principalmente quando existem descontos significativos para lotes maiores, tem afetado diretamente como os armazéns estão sendo utilizados. Quando os produtos são oriundos de vários lugares, as organizações economizam no transporte enviando as cargas para um armazém, de modo que as cargas sejam consolidadas para serem enviadas juntas.
- Transferência e transbordo: refere-se a fracionar cargas maiores em volumes menores. Como relatado, o preço cobrado é consideravelmente menor quando transportadas quantidades maiores de produtos. Assim sendo, para atender clientes que necessitam de pequenas quantidades, é mais viável instalar um armazém destinado a supri-los.
- Agrupamento: compreende o agrupamento de componentes de um produto. Algumas organizações possuem portfólios de produtos compostos por diversos componentes. Portanto, elas podem reduzir os custos de produção especializando cada planta para produzir em larga escala apenas alguns produtos. Nos armazéns, esses produtos são unidos conforme os pedidos dos clientes. Os custos extras do armazém são equilibrados pela redução dos custos de produção.

Outro termo relevante é Centro de Distribuição (CD). Tanto os armazéns quanto os CD's podem armazenar produtos acabados, com a diferença de que os CD's recebem produtos de fornecedores distintos. As mudanças organizacionais, juntamente com o crescente processo de competição faz com que muitas organizações de diferentes setores, além de operadores logísticos busquem pela utilização de CD's devido à redução dos custos e o aumento da eficiência que estes proporcionam (CALAZANS, 2001; BARROS, 2005).

De acordo com Frazelle (2002), um CD refere-se a uma instalação onde se estoca temporariamente os produtos entregues de vários fabricantes, até que esses

sejam pedidos e enviados para os armazéns dos clientes. Normalmente o CD recebe as cargas agrupadas de diferentes fornecedores e essas são fracionadas e novamente consolidadas com outra quantidade e variedade para serem transportadas para os armazéns, pontos de venda ou consumidores finais (PIMENTEL; PEREIRA, 2010). A Figura 6 retrata a localização e aplicação do CD.

Figura 6 - Posicionamento e aplicação do centro de distribuição



Fonte: Barros (2005)

Os CD's, antes tidos como custos adicionais, hoje são considerados como elemento chave para a estratégia organizacional. Porque além de aumentar o nível de serviço ofertado em virtude da redução do prazo de entrega ao cliente, ainda auxilia as empresas a expandir sua cobertura no mercado. Em um país com extensões continentais como o Brasil, as empresas necessitam de pontos de apoio instalados em locais adequados para garantir as entregas por toda a cobertura planejada (BARROS, 2005). Este sistema de pontos de apoio, que auxilia a expansão da cobertura das organizações, possibilita, segundo Farah Jr. (2002), suprir corretamente a pequenos estabelecimentos que possuem demanda constante, alto giro de estoque e tempo de comercialização pequeno.

A partir da compreensão do conceito, funcionamento, aplicabilidade e importância das instalações de armazenagem, faz-se interessante, para prosseguimento e entendimento total do trabalho, conhecer como é constituído o *layout* das instalações.

2.5 LAYOUT

O *layout* determina o visual e o formato do local de produção e do armazém, pois diz respeito ao posicionamento físico dos equipamentos, máquinas e pessoas. É também responsável por integrar e definir como os fluxos irão ocorrer. O *layout* ideal é aquele que otimiza a área utilizada, minimizando a distância percorrida pelo coletor durante a seleção de pedidos e, conseqüentemente, o tempo gasto durante a atividade (PALETTA; SILVA, 2003; ROSA, 2013; TRINDADE, 2016).

De todas as atividades manuais realizadas em um armazém, a seleção e coleta de pedidos são as mais carregadas em mão de obra. Principalmente quando existe uma grande quantidade e variabilidade de formatos e tamanhos nos produtos manuseados (TOMPKINS et al., 2010; CHIANG; LIN; CHEN, 2011). Por causa dessa necessidade excessiva de mão-de-obra e do número de atividades associadas a administração dos armazéns, a seleção e coleta dos pedidos podem tornar-se um empecilho para o cumprimento de um prazo de entrega curto.

Dessa forma, diminuir a distância percorrida pelo coletor melhorando a eficiência da seleção de pedidos pode aumentar o nível de serviço e reduzir os custos relacionados (CHIANG; LIN; CHEN, 2011). Uma forma de melhorar a eficiência da seleção de pedidos é por meio da implementação de um *layout* adequado. Outros benefícios obtidos pela escolha de um bom *layout* são a facilitação do fluxo de materiais e condições mais adequadas de trabalho para os operadores (RICHARDS, 2011).

De acordo com Horta (2014, p. 26), “a escolha do *layout* de um armazém é abordada na literatura como sendo um problema complexo”. Essa complexidade está associada a quantidade de efeitos desse problema. A tomada de decisão relacionada ao *layout* do armazém provoca conseqüências não apenas aos custos com o manuseio de materiais, mas também aos custos de manutenção e construção do armazém. As implicações da escolha do *layout* ainda afetam o equipamento usado, o aproveitamento da área e a capacidade de estocagem (GU; GOETSCHALCKX; MCGINNIS, 2010).

Segundo Gu, Goetschalckx e McGinnis (2010), o *layout* de um armazém engloba cinco âmbitos básicos:

- Estrutura geral do armazém: Define quais serão os setores funcionais e a conexão dos fluxos entre eles.

- Dimensão do armazém: Corresponde, além da definição do tamanho do armazém, a distribuição dos setores na área total disponível.
- *Layout* específico de cada departamento: diz respeito ao formato e aparência dentro dos setores, por exemplo, tamanho dos locais de armazenagem e quantidade de corredores.
- Equipamentos do armazém: determina os equipamentos utilizados nas diversas atividades. E por consequência indica o grau de automação do armazém.
- Estratégias operacionais: estabelece como será a operação das atividades de armazenamento e seleção de pedidos, quando essas possuem relação ao arranjo físico do armazém. Como por exemplo o sistema de localização do estoque e os métodos de designação de locais.

O foco do presente trabalho está nas estratégias operacionais, mais especificamente nos métodos de designação dos locais de armazenamento. No entanto para auxiliar na compreensão da aplicação desses métodos, é interessante abordar alguns conceitos relacionados aos outros âmbitos.

Quando se refere ao *layout* específico de cada setor, o objetivo é definir todo o sistema de corredores. A estrutura de corredores envolve diversas variáveis como a disposição, quantidade, largura e comprimento dos corredores e a localização das portas do armazém (GU; GOETSCHALCKX; MCGINNIS, 2010).

O armazém deve ser retangular, pois esse é o melhor formato para estocar produtos em unidades retangulares, como paletes e prateleiras. O *layout* de armazém considerado tradicional é denominado estrutura de escada. A estrutura de escada é formada por corredores longitudinais paralelos na vertical, dois corredores transversais localizados na frente e nos fundos do armazém e uma porta centralizada. Os corredores transversais são utilizados para que o coletor possa mudar de corredor e são posicionados de forma perpendicular aos corredores de coleta (BASSAN et al., 1980; PETERSEN, 1997; ROODBERGEN; DE KOSTER, 2001; ROODBERGEN; VIS, 2006).

Os coletores de pedidos podem entrar e percorrer os corredores pelos dois sentidos e mudar de sentido no seu interior. Os produtos são estocados nos dois lados do corredor de coleta em prateleiras duplas ou paletes. As prateleiras apenas não possuem produtos armazenados em ambos os lados quando estão encostadas na parede. Nesse caso elas possuem metade da largura de uma prateleira dupla. A altura

das prateleiras ou a quantidade de andares que os paletes podem ser empilhados não depende da área e do *layout*. Geralmente, a altura de estocagem é determinada pela altura do armazém, modelo de equipamento utilizado e formato dos produtos (BASSAN et al., 1980; ROODBERGEN; DE KOSTER, 2001; ROODBERGEN; VIS, 2006).

A *priori* os corredores transversais garantem maior capacidade para o desenvolvimento de rotas para os coletores de pedidos, devido à flexibilidade e variedade de caminhos. Consequentemente, propicia a redução da distância percorrida. Contudo, essa redução da distância pode ser afetada se a quantidade de corredores for demasiadamente alta, por causa da distância adicional necessária para atravessar a largura dos corredores transversais. Outro aspecto negativo de um número excessivo de corredores transversais é a redução da área destinada para armazenagem que é substituída por esses corredores (VAUGHAN; PETERSEN, 1999).

Contudo, durante o projeto das dimensões do armazém e do *layout* específico do departamento de armazenagem deve-se considerar que é inviável, tanto economicamente quanto em requisitos de espaço, criar um departamento com capacidade para estocar a quantidade certa de produtos para atender a demanda durante um longo período de tempo. Portanto, faz-se necessário conhecer técnicas para determinar quanto da área de armazenagem será destinada para cada tipo de produto. Na próxima seção será abordado o conceito desse problema e alguns métodos de definição desta área.

2.6 ESTRATÉGIAS DE ORGANIZAÇÃO DA ATIVIDADE DE COLETA

Roodbergen e De Koster (2001), basicamente, dissertaram sobre a existência de quatro modos para melhorar a eficiência da atividade de coleta e seleção de pedidos: zoneamento (*zoning* e *zone picking*), definição de uma rota de coleta eficiente (*Order Picking Routing*), designação dos locais de armazenagem (*Storage Location Assignment*) e agrupamento de pedidos em lotes para a coleta (*batch picking*). A determinação de uma estratégia adequada de organização do *picking* é um modo de reduzir a distância total percorrida. O zoneamento e o agrupamento de

pedidos em lotes são estratégias de organização do *picking*. De acordo com Parikh e Meller (2008), uma estratégia de organização do *picking* busca reduzir o tempo de deslocamento e o custo da operação ou melhorar a produtividade da mesma.

Picking é a atividade responsável pela coleta das quantidades adequadas de produtos nas seções de armazenamento estabelecidas, de maneira a atender as encomendas dos clientes. A estratégia de organização da atividade de coleta de pedidos determina como os operadores andarão no departamento de armazenagem para coletar os produtos (JANE; LAIH, 2005; GUE; MELLER; SKUFCA; PARIKH, 2006).

Planejar e desenvolver um sistema de coleta de pedidos (*Order Picking System* - OPS) engloba diversas tomadas de decisão. Entre essas decisões destacam-se a definição de *layout* e dimensões do departamento de armazenagem, a política de armazenagem, a estratégia de organização de coleta de pedidos, o equipamento de coleta, etc. Em empresas de vendas por correspondência, a definição de uma estratégia de organização da atividade de coleta de pedidos pode influenciar consideravelmente o custo e a eficiência de um OPS. O segredo para um projeto adequado de um OPS é harmonizar e ajustar as variáveis de decisão e o plano de negócios com uma estratégia de organização de coleta e seleção de pedidos que fornece vantagens para a empresa e seus clientes (PETERSEN, 2000; PARIKH, 2006).

Parikh (2006) primeiro descreve três estratégias básicas para a organização da atividade de coleta e seleção de pedidos: coleta discreta (*discrete order picking*), coleta em lotes (*batch picking*) e coleta em zona (*zone picking*). Na estratégia de coleta discreta, o operador coleta e seleciona os produtos de um único pedido por vez. É uma estratégia fácil de implementar, além de não estar sujeita a erros de compreensão. Contudo, a vantagem mais relevante é que a estratégia de coleta discreta não danifica a integridade do pedido. Entre as desvantagens, pode-se destacar o aumento na distância percorrida e, conseqüentemente, um tempo de operação maior. Além disso, essa estratégia pode requisitar um trabalho intensivo em armazéns de média para alta produtividade (GUE et al., 2006; SAKAGUTI, 2007; PARIKH; MELLER, 2008).

Na estratégia de coleta em lotes, diversos pedidos são reunidos em um lote. O operador coleta um lote de pedidos, ao invés de coletar apenas um pedido por vez. A seleção depende da capacidade máxima do equipamento de coleta. Uma analogia

pertinente é a comparação da coleta em lotes com uma ida ao supermercado, onde você adquire os itens da sua lista de compras e das listas dos seus vizinhos (CORMIER; GUNN, 1992; SAKAGUTI, 2007; PARIKH; MELLER, 2008).

A estratégia de coleta em lotes, sempre que se coleta conjuntamente produtos de pedidos distintos, proporciona uma economia maior que a estratégia de coleta discreta. A coleta em lotes resulta nessa economia, principalmente, quando os produtos estão alocados próximos uns dos outros no departamento de armazenagem (CORMIER; GUNN, 1992).

Sendo assim, Sakaguti (2007) relata que a vantagem fundamental da estratégia de coleta em lotes é a redução do tempo de coleta por produto. Contudo, para Ballou (2006), essa estratégia, apesar de reduzir o tempo de coleta, torna o reordenamento de pedidos mais complexo. Após a coleta em lotes precisa-se de um tempo para a consolidação dos pedidos. Como a estratégia de coleta em lotes é influenciada pela quantidade e tamanho dos pedidos no lote, o tempo de atendimento de algum pedido pode aumentar (CORMIER; GUNN, 1992; BALLOU, 2006; SAKAGUTI, 2007).

Existem dois modelos de estratégia de coleta em lotes: *pick-and-sort* e *sort-while-pick*. Na estratégia de coleta em lotes *pick-and-sort*, primeiro coleta-se os produtos e depois classifica-os em pedidos dos clientes. Utiliza-se esse modelo quando a capacidade do equipamento de coleta é pequena, impossibilitando que os operadores classifiquem os produtos no equipamento. Esse modelo de estratégia proporciona uma taxa de coleta (produtos coletados por unidade de tempo) alta, no entanto, necessita de uma etapa adicional para a classificação dos produtos em pedidos dos clientes (DE KOSTER; LE-DUC; ROODBERGEN, 2007; PARIKH; MELLER, 2008).

Na estratégia de coleta em lotes *sort-while-pick*, os operadores classificam os produtos em pedidos ao mesmo tempo que os coletam. Aplica-se esse modelo quando o equipamento possui uma capacidade maior e possibilita o uso de repartições. Sendo assim, esse modelo diminui a taxa de coleta dos operadores, entretanto, exclui a necessidade de uma etapa adicional para a classificação. Dessa forma, deve-se ponderar os dois modelos de estratégia de coleta em lotes, uma vez que existe um *trade-off* entre a taxa de coleta e a necessidade de uma etapa adicional para a classificação dos produtos em pedidos dos clientes (DE KOSTER; LE-DUC; ROODBERGEN, 2007; PARIKH; MELLER, 2008).

A estratégia de coleta em zona consiste na divisão de todo o armazém ou de um departamento de armazenagem específico em zonas, cada uma com um operador exclusivo. O operador é responsável por coletar apenas os produtos da sua respectiva zona. Dentro das zonas, a coleta pode ser em lotes ou discreta. Na analogia do supermercado, a estratégia de coleta em zona se assemelha com a designação de um comprador para cada corredor. Cada indivíduo retiraria todos os produtos requisitados dos seus corredores, independentemente de quais pedidos os solicitaram (SAKAGUTI, 2007; PARIKH; MELLER, 2008).

Como o espaço que cada operador percorre para coleta diminuiu em relação ao armazém completo, conseqüentemente, o tempo de coleta por produto também é reduzido. Portanto, uma das vantagens da estratégia de coleta em zona é a redução no tempo de coleta. Outras vantagens da separação do departamento de armazenagem em zonas, são o aumento do conhecimento e familiaridade do coletor com o grupo de Unidades de Controle de Estoque (*Stock Keeping Unit* - SKU) da sua zona e o menor congestionamento entre os coletores. A necessidade de consolidar os pedidos dos clientes antes do envio é a principal desvantagem dessa estratégia. Dessa forma, deve-se confrontar as reduções no tempo de coleta com os custos e possíveis erros da consolidação dos pedidos (SAKAGUTI, 2007; GU; GOETSCHALCKX; MCGINNIS, 2007).

É relevante salientar que os pedidos devem ser divididos em listas de separação e coleta para cada zona (BALLOU, 2006). Assim como na coleta em lotes, também existem duas estratégias de coleta em zona: progressiva e simultânea. Na estratégia de coleta em zona progressiva, também conhecida como *pick-and-pass* ou sequencial, a coleta acontece em uma única zona e pedido por vez, e então o pedido é transferido para a zona seguinte. A coleta em lotes progressiva diminui a taxa de coleta dos operadores, uma vez que se coleta um pedido por vez. Todavia, essa estratégia exclui a necessidade de uma etapa adicional para a classificação dos pedidos (DE KOSTER; LE-DUC; ROODBERGEN, 2007; PARIKH; MELLER, 2008; TOMPKINS et al., 2010).

Na estratégia de coleta em zona simultânea, também conhecida como sincronizada, todos os produtos de um lote de pedidos são coletados conjuntamente em todas as zonas. Após a coleta, ocorre a consolidação dos pedidos por meio de um sistema adicional de classificação. Sendo assim, como retira-se um lote de pedidos por vez, a estratégia em zona simultânea aumenta a taxa de coleta dos operadores.

Entretanto, essa estratégia requer um sistema adicional para a classificação dos pedidos (DE KOSTER; LE-DUC; ROODBERGEN, 2007; PARIKH; MELLER, 2008).

Petersen (2000) realizou um projeto experimental, no qual considerou três aspectos fundamentais: estratégia de organização da atividade de coleta de pedidos, volume diário e a assimetria da demanda. O autor constatou, a partir dos resultados encontrados, que a estratégia de coleta em zona simultânea e a estratégia de coleta em lotes são as melhores e não possuem a eficiência afetada negativamente pela mudança do volume diário ou da assimetria da demanda.

Parikh e Meller (2008) citam mais duas estratégias de organização da atividade de coleta de pedidos: coleta de onda e *bucket brigade*. Alguns armazéns utilizam estratégias de coleta híbridas, na busca por agrupar as vantagens de diferentes estratégias. Na estratégia de coleta em lotes ou em zona, quando os produtos devem ser coletados em um período de tempo predefinido, denominamos de estratégia de coleta de onda (GUE et al., 2006; PARIKH; MELLER, 2008).

Na estratégia de coleta de onda, os operadores dividem lotes maiores por meio de janelas de tempo, normalmente de trinta minutos a duas horas, ao invés de separá-los de acordo com a quantidade de produtos. Os operadores coletam continuamente durante todo o período de tempo e apenas descarregam quando o equipamento atinge a capacidade máxima. A coleta de onda também necessita de uma etapa e mão de obra adicional para a consolidação dos pedidos (PETERSEN, 2002).

A estratégia de coleta *bucket brigade*, proposta por Bartholdi, Eisenstein e Foley (2001), foi inspirada em linhas de montagem, onde os operadores montam sucessivamente um produto. Esse conceito aplicado na coleta de pedidos em um armazém funciona do seguinte modo. Quando o operador a frente terminar a coleta de uma lista, ele retorna para continuar a coleta da lista que o operador logo atrás estava coletando. Esse operador passa a coletar a lista do seu antecessor, e assim consecutivamente, até que o primeiro operador inicie uma nova lista de coleta (BARTHOLDI; EISENSTEIN; FOLEY, 2001; PARIKH, 2006).

Contudo, a aplicação da estratégia de coleta *bucket brigade* é limitada para os casos em que o corredor de coleta é alinhado em fluxo, em que é simples transferir os produtos para o próximo operador e quando o tempo de entrega é baixo (PARIKH, 2006). Parikh e Meller (2008) afirmam que a maioria dos armazéns utiliza as estratégias de coleta em lotes ou em zona. Bartholdi, Eisenstein e Foley (2001), por

meio de uma simulação compararam a estratégia de coleta *bucket brigade* com a coleta em zona progressiva. Os autores constataram que a taxa de produção para a coleta *bucket brigade* é semelhante à da coleta em zona.

2.7 SEÇÕES DE ARMAZENAMENTO PARA CADA TIPO DE PRODUTO

A partir do entendimento de que o departamento de armazenagem não é capaz de estocar a quantidade de cada tipo de produto necessária para suprir a demanda em determinado período, compreende-se que é essencial garantir o reabastecimento dos produtos coletados. Portanto, deve-se encontrar um equilíbrio adequado entre a quantidade de seções destinadas para a armazenagem de cada tipo de produto e a frequência de reabastecimento (ACCORSI; MANZINI; BORTOLINI, 2012).

Para solucionar qual a quantidade de seções destinar para cada tipo de produto, Bartholdi III e Hackman (2017) apresentam e comparam três métodos distintos para determinar a porcentagem da área de armazenagem destinada: estratégia de espaço igual (EQS), estratégia de tempo igual (EQT) e estratégia ótima (OPT). O Quadro 1 apresenta e descreve as três estratégias.

Quadro 1 - Estratégias de definição da porcentagem das seções destinada para cada tipo de produto

Estratégias	Porcentagem das seções	Descrição
Espaço igual (EQS)	$V_i = \frac{1}{n}$	Mesma quantidade de espaço de armazenagem para cada tipo de produto
Tempo igual (EQT)	$V_i = \frac{D_i}{\sum_i^n D_i}$	Mesmo número de reabastecimentos para cada tipo de produto
Ótima (OPT)	$V_i = \frac{\sqrt{D_i}}{\sum_i^n \sqrt{D_i}}$	Minimiza o número total de reabastecimentos

Fonte: Adaptado Bartholdi III e Hackman (2017)

Onde:

- V_i : porcentagem do total de seções de armazenagem destinadas para o tipo de produto i ;
- D_i : demanda do tipo de produto i em um período de tempo;

- n : número total de tipos de produtos.

O presente trabalho utilizará a OPT, porque segundo Hackman e Rosenblatt (1990) a OPT destina para cada tipo de produto uma parcela adequada do espaço total disponível para armazenamento de modo a minimizar o número total de reabastecimentos. A OPT é chamada ótima por oferecer a melhor solução no que diz respeito ao número de reabastecimentos.

Estando definida a porcentagem destinada para a armazenagem de cada item, o próximo passo é realizar a alocação dos produtos no departamento de armazenagem.

2.8 LOCALIZAÇÃO DOS PRODUTOS

Como visto na seção referente ao *layout* (2.5) a atividade de seleção de pedidos possui diversos custos associados, como custo de mão-de-obra e o custo relacionado à distância percorrida durante a coleta. Essa atividade também possui papel estratégico no que se refere ao nível de serviço ofertado. Um dos modos de melhorar a eficiência da seleção e coleta de pedidos é otimizando as estratégias operacionais.

Portanto, para minimizar as movimentações e os custos com o manuseio de materiais uma importante decisão a ser tomada é quanto à disposição interna dos produtos no armazém. São questões que dizem respeito a onde cada item será localizado, como serão separados e qual a metodologia utilizada para a designação do local de armazenagem. Uma disposição de produtos adequada ainda contribui para a otimização do espaço disponível e a solução de certas restrições relacionadas a localização dos produtos, como separação de pedidos, defesa contra incêndios e proteção (BALLOU, 2006).

As questões referentes a disposição interna dos itens sempre foram interesse dos engenheiros de produção e industriais no arranjo físico de processos produtivos, contudo, a maioria dos métodos criados para a escolha do arranjo físico da produção também são aplicáveis para armazéns (BALLOU, 2006). O número de estudos na área de armazenagem que buscam melhorar o aproveitamento do espaço e aumentar

a produtividade do armazém cresceu devido ao aumento da complexidade dessa operação (MOURA, 2008).

2.8.1 Políticas de Armazenamento

Uma política de armazenamento (*Storage Assignment Policy – SAP*) determina uma forma eficiente de localizar os tipos de produtos durante as atividades de coleta e seleção de pedidos. Existem diferentes políticas de armazenamento que podem ser utilizadas (GU; GOETSCHALCKX; MCGINNIS, 2007; MUPPANI; ADIL, 2008b). Os diversos métodos de designação de locais de armazenamento são classificados em alguma das políticas.

Três classificações de sistemas de armazenamento são apresentadas por Hausman et al. (1976): armazenamento aleatório ou variável, armazenamento fixo ou dedicado e armazenamento baseado em classe.

O sistema de armazenamento aleatório possibilita que os produtos sejam acondicionados em qualquer local do departamento de armazenagem. A política aleatória é largamente aplicada nos armazéns devido à sua simplicidade de utilização e normalmente proporciona um nível de utilização mais equilibrado entre os corredores de coleta (PETERSEN; GERALD, 2004; MUPPANI; ADIL, 2008b). São aplicados quando existe a necessidade do melhor aproveitamento da área disponível, pois os produtos são armazenados nos locais livres existentes.

O armazenamento dedicado define um local específico para a armazenagem de cada item. Esse espaço é exclusivo para um tipo de produto e não pode ser ocupado por outro, mesmo que o local esteja vazio (ROUWENHORST et al., 2000; FONTANA; CAVALCANTE, 2013).

A política de armazenamento baseada em classe consiste em agrupar os tipos de produtos em classes e depois designado um espaço específico para cada classe dentro do armazém. Os produtos são armazenados aleatoriamente dentro desse espaço. Esse sistema combina o alto aproveitamento da área e a flexibilidade que a política aleatória proporciona, com a possibilidade de estocar os produtos de maior rotatividade próximo a saída. Normalmente, são aplicados dois métodos para o armazenamento baseado em classe: fins dedicados e Classificação ABC (CHAN; CHAN, 2011; PAN; SHIH; WU, 2012).

A política de armazenamento aleatória e a política dedicada podem ser analisadas como situações do sistema de armazenamento baseado em classe. O armazenamento aleatório, analisado pela perspectiva do armazenamento baseado em classe, é constituído por uma classe que engloba todos os produtos, e o armazenamento dedicado possui uma classe separada para cada um dos tipos de produtos armazenados. Para a aplicação do sistema de armazenamento baseado em classe algumas questões devem ser consideradas, como a quantidade de classes, a separação dos produtos nas classes e as áreas destinadas para cada classe (HAUSMAN et al., 1976; MUPPANI; ADIL, 2008a; LI; CHEN; LIU, 2008).

Hausman et al. (1976), Graves et al. (1977) e Schwarz et al. (1978) em seus trabalhos realizaram estudos comparativos que apresentaram que política de armazenamento dedicada proporciona uma redução considerável no tempo de coleta de pedidos quando comparada com a política aleatória. Esses trabalhos também apontaram que o armazenamento baseado em classe, com poucas classes, proporciona reduções no tempo semelhantes as atingidas pelo armazenamento dedicado.

Goetschalckx e Ratliff (1990) adicionam as categorias a política de armazenamento compartilhado baseado na duração de estadia (*duration-of-stay - DOS*), na qual diferentes tipos de produtos podem ser acondicionados no mesmo local de armazenamento de acordo com o tempo de permanência desses produtos. O armazenamento compartilhado possibilita um aproveitamento flexível da área quando comparado com a política dedicada, pois podem permitir a redução do espaço de armazenamento e um melhor aproveitamento dos locais (ALVES, 2014). O sistema baseado na DOS possuía uma aplicação complexa no passado devido à necessidade do acompanhamento e rastreamento de cada produto do armazém. No entanto os atuais sistemas de gerenciamento de armazéns (*Warehouse Management System - WMS*) conseguem cumprir essas funções. Todavia, torna-se computacionalmente inaplicável para a obtenção de uma solução ideal por causa da dimensão desse problema (GU; GOETSCHALCKX; MCGINNIS, 2007; 2010).

Fontana e Cavalcante (2013, p. 285) relatam que “selecionar qual estratégia de armazenamento usar é considerado um problema de design. No entanto, como implementar cada estratégia de armazenamento é uma questão operacional”. A aplicação de uma política ou combinação de políticas de armazenamento tem como foco principal determinar critérios para a classificação e localização dos produtos.

Contudo, como são diversas políticas, para definir qual delas é mais apropriada deve-se analisar alguns fatores essenciais para a escolha, como: o formato dos produtos, o modelo de instalação de armazenagem, os equipamentos necessários, o método de processamento e o tamanho dos lotes (SANTOS; SILVA; LIMA, 2008).

2.8.2 Problema de Designação de Locais de Armazenagem

O problema de designação dos locais de armazenagem é tratado internacionalmente como SLAP (*Storage Location Assignment Problem*). Consiste, após a escolha da política de armazenamento, em alocar os produtos a seções de armazenagem dentro do armazém. Dessa forma reduzir os custos com a movimentação e otimizar a utilização da área. (GU; GOETSCHALCKX; MCGINNIS, 2007).

Definir os locais de armazenagem apropriados para todos os diversos produtos é um trabalho importante que desafia o gestor do armazém durante o desenvolvimento de uma nova instalação ou na modificação do atual armazém. Existem muitos fatores que afetam a designação de locais de armazenagem, como, ordenação dos pedidos, *layout* do departamento, equipamentos de manuseio, características do produto, previsão de demanda e espaço disponível. O método utilizado para a designação possui efeitos sobre a maioria dos desempenhos, por exemplo, o tempo de coleta de pedidos, custos com movimentações e produtividade. É muito complexo para um gerente administrar todos os fatores e restrições existentes no contexto real ao mesmo tempo e de modo consistente para definir o local mais adequado (CHAN; CHAN, 2011; GUERRIERO et al., 2013).

Segundo Gu, Goetschalckx e McGinnis (2007) o problema de designação dos locais de armazenagem é estruturado da seguinte forma. Fornecidas as informações iniciais referentes:

- Ao espaço de armazenagem, compreendendo o *layout* e o arranjo físico do departamento;
- Aos locais de armazenagem, envolvendo a disponibilidade, disposição e tamanho.
- Aos produtos a serem armazenados, incluindo características do produto, como, formato, tamanho, demanda e horários de chegada e saída.

Objetiva-se determinar os locais onde os tipos de produtos serão alocados. No entanto o problema está suscetível a sofrer influências de algumas restrições, tais como:

- Capacidade de armazenagem;
- Eficiência do coletor;
- Tempo de resposta;
- Conformidade dos produtos com os locais de armazenagem e conformidade entre os tipos de produtos;
- Políticas de recuperação de produtos empregadas, por exemplo FIFO (*First-in, First-out*) e LIFO (*Last-in, First-out*).

Diferentes departamentos de armazenagem podem aplicar diferentes métodos para solução do SLAP, dependendo do formato dos produtos e da tecnologia utilizada no departamento (GU; GOETSCHALCKX; MCGINNIS, 2007; GUERRIERO et al., 2013).

Ainda de acordo com Gu, Goetschalckx e McGinnis (2007), o problema de designação dos locais de armazenagem, conforme o número de informações sabidas sobre a chegada e saída dos produtos, pode ser classificado em três categorias: informações do item, informações do produto ou nenhuma informação. Para cada uma dessas categorias existem métodos de designação distintos.

2.8.2.1 Problema de designação dos locais de armazenagem baseado nas informações do item (SLAP/II)

Nesse problema parte-se da premissa que se conhece as informações sobre a chegada e saída de cada item separado. O SLAP/II possui a característica de que um local de armazenagem pode ser ocupado por dois itens desde que não ao mesmo tempo. Esse problema é denominado de problema de designação de vetores (*Vectors Assignment Problem - VAP*), pois a característica citada anteriormente não permite mais que a alocação do local seja representada por uma única variável binária, mas como um vetor que varia conforme o tempo (GOETSCHALCKX, 1998). A política de armazenamento compartilhado baseado na DOS, mostrada por Goetschalckx e Ratliff (1990), é um exemplo de política a ser aplicada nesse problema.

2.8.2.2 Problema de designação dos locais de armazenagem baseado nas informações do produto (SLAP/PI)

Nesse problema sabe-se apenas informações relacionadas aos produtos. Os gêneros de produtos são designados a uma classe conforme atributos pré-estabelecidos dos próprios produtos, então designa-se as classes aos locais de armazenagem. Os produtos dentro da classe são posicionados utilizando-se de um critério pouco complexo ou aleatoriamente (GU; GOETSCHALCKX; MCGINNIS, 2007).

As políticas de armazenamento aleatória e dedicada podem ser analisadas como situações do sistema de armazenamento baseado em classe. O armazenamento dedicado possui a quantidade de classes igual a quantidade de tipos de produtos e o armazenamento aleatório possui apenas uma única classe. A política de armazenamento baseada em classe possui a quantidade de classes variando de duas até a quantidade de classes igual ao número de tipos de produtos menos um. (HAUSMAN et al., 1976; GU; GOETSCHALCKX; MCGINNIS, 2007; CHAN; CHAN, 2011).

Segundo Frazelle (2002) e Gu, Goetschalckx e McGinnis (2007) diferentes parâmetros são utilizados para designar as classes no departamento de armazenagem. Os parâmetros mais aplicados são: popularidade, inventário máximo e Índice *Cube-Per-Order* (*Cube-Per-Order Index* - COI).

A popularidade corresponde ao número de viagens de armazenamento por período de tempo. O sistema de armazenamento baseado em popularidade atribui os tipos de produtos considerando a demanda. Para esse critério as classes são ordenadas pela popularidade de forma decrescente. As primeiras classes na lista, logo as de maior popularidade, são alocadas nos melhores locais (FRAZELLE, 2002; PAN; SHIH; WU, 2012). A armazenagem com os produtos de maior demanda alocados próximos da expedição, proporciona a operação a capacidade de reduzir o tempo de procura, separação dos produtos e movimentação, tornando o processo muito mais eficiente (ACCORSI; MANZINI; BORTOLINI, 2012).

O inventário máximo é definido pelo espaço máximo que uma classe de produtos irá ocupar no departamento. Nesse critério as classes são ordenadas pelo espaço máximo ocupado por elas de forma crescente. As primeiras classes que

possuem o menor estoque máximo são alocadas nos melhores locais (FRAZELLE, 2002).

Heskett (1963) propõe o Índice *Cube-Per-Order* (COI). O COI é determinado pela razão do espaço máximo ocupado pela popularidade. Nesse método ordena-se os modelos de produtos pelo COI de forma crescente. As classes de produtos com os menores COI's são armazenadas próximo a saída do armazém (CHAN; CHAN, 2011; PAN; SHIH; WU, 2012).

Huang, Oh e Cha (2003) criaram o Índice *Density-Turnover* (DTI) que buscava minimizar o gasto de energia dos coletores. Esse índice considera a massa, o espaço requerido, a demanda e a distância do local de armazenagem. O DTI mostrou-se superior ao COI em relação a aspectos da segurança dos colaboradores.

A utilização dos critérios citados depende diretamente da composição do armazém. Por exemplo, se o armazém possui seções de armazenamento avaliados por unidade, como prateleiras, essas unidades podem ser consideradas como produtos separados. Tendo compreendido isso, se cada produto ocupar um local com o mesmo tamanho, o critério de popularidade será basicamente o mesmo que o COI (GU; GOETSCHALCKX; MCGINNIS, 2007).

2.8.2.3 Problema de designação dos locais de armazenagem baseado em nenhuma informação (SLAP/NI)

Quando não existir nenhuma espécie de informação disponível utiliza-se métodos de designação de locais de armazenamento pouco complexos. Nesse contexto, os métodos mais empregados são: local vazio mais próximo (*Closest-Open-Location* - COL), local mais vazio (*Farthest-Open-Location* - FOL), local vazio por mais tempo (*Longest-Open-Location* - LOL) e aleatório (GU; GOETSCHALCKX; MCGINNIS, 2007).

Se os coletores de pedidos possuísem a autoridade para selecionar o local de armazenagem, certamente, iria se obter um método de armazenamento chamado de local vazio mais próximo. Nesse método, o primeiro local vazio identificado pelo coletor é utilizado para alocar o produto. O que normalmente gera um departamento de armazenagem onde os locais estão lotados próximos da porta e pouco a pouco mais vazios conforme se afastam da porta, quando existe excesso de capacidade. O armazenamento no Local mais vazio seleciona um local vazio conforme sua distância

para as docas de recebimento. O método de armazenamento no local vazio por mais tempo seleciona a localização que está vazia a mais tempo. Não se tem conhecimento se existem diferenças relevantes entre os desempenhos desses métodos (GU; GOETSCHALCKX; MCGINNIS, 2007; DE KOSTER, 2007).

2.8.3 Classificação ABC

A partir da informação que nesse trabalho será empregada a política de armazenamento baseada em classe em um SLAP que possui apenas dados referentes aos produtos, faz-se necessário conhecer métodos que forneçam uma classificação por meio desses dados. Segundo Chan e Chan (2011) um dos métodos mais aplicados para esses casos é a Classificação ABC. Corroborando esse fato, Slack, Chambers e Johnston (2002) afirmam que a Classificação ABC pode ser empregada para a separação dos tipos de produtos armazenados em classes de acordo com os seus valores.

A Classificação ABC ou Curva ABC, que segue o princípio de Pareto, é uma aplicação do Diagrama de Pareto. Amplamente utilizada na gestão de armazenagem, especialmente quando existe uma grande quantidade de tipos de produtos. O Diagrama de Pareto possui suas bases na Escola de Relações Humanas. Originou-se do fundamento de economia consolidado por Vilfredo Pareto, esse relatava que a maior parcela da renda se concentra em uma pequena fração da população. O conceito econômico de Pareto pode ser extrapolado para diversas outras situações: poucos consumidores concentram a maioria das vendas; algumas causas originam a maioria dos defeitos; poucos produtos são responsáveis pela maior parcela da receita. Em resumo, o que a Classificação ABC indica é que existem elementos cruciais e decisivos que devem receber maior atenção (PALADINI, 1998; SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2002; BERNARDI, 2008).

A Classificação ABC mostra que uma pequena parcela, a cerca de 20% do total dos tipos de produtos armazenados configura uma grande fração, aproximadamente 80% do valor total armazenado. Depois da classificação dos produtos, os tomadores de decisão podem priorizar suas ações aos produtos mais importantes e de maior influência em diversos fatores (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2002).

Os parâmetros de classificação mais aplicados na Curva ABC são o valor de estoque e a utilização anual, no entanto, outros critérios podem ser usados, como a ausência em estoque, imprevisibilidade do fornecimento e o risco de deterioração ou obsolescência (BRAGA; PIMENTA; VIEIRA, 2008). Existem ainda outros critérios de classificação associados aos produtos que podem ser empregados, por exemplo, o volume, o formato ou a massa.

A Curva ABC surge a partir da ordenação decrescente dos tipos de produtos de acordo com seu índice relativo. Os produtos mais relevantes e que devem ser priorizados são agrupados na classe A, os intermediários na classe B e por último os pouco relevantes e que merecem menos atenção são alocados na classe C (DIAS, 2008).

Os produtos da classe A são acondicionados próximos do ponto de entrada e saída. A porta do departamento de armazenagem é o local de maior circulação de operadores e equipamentos. Se o critério de classificação for a demanda, a alocação da classe A próxima a porta garante reduções nas distâncias percorridas, pois a atividade de embalagem normalmente se encontra nesta região. Os produtos que possuem índices intermediários, da classe B, são armazenados logo após a classe A, sendo a segunda classe mais próxima da porta. A classe C é armazenada mais distante do ponto de entrada e saída do departamento de armazenagem (ASKIN; STANDRIDGE, 1993; PETERSEN, 1999; SHIH, 2005).

Martins e Alt (2009) relatam que não existe uma regra completamente aceita a respeito das porcentagens para definir quais modelos de produtos pertencem a classe A, B ou C. No entanto, os autores determinam as três classes do seguinte modo:

- Classe A: é formada por uma pequena quantidade de produtos, de 10% a 20%, que possui um valor de consumo acumulado alto, a cerca de 35% a 70% do valor total;
- Classe B: é formada por uma quantidade média de produtos, de 30% a 40%, que apresenta um valor de consumo acumulado entre 10% e 45%;
- Classe C: é formada por uma quantidade maior de produtos, acima de 50%, que corresponde ao restante do valor de consumo acumulado, aproximadamente 5% a 10%.

Dessa forma, a aplicação da Classificação ABC em armazéns oferece uma perspectiva mais crítica sobre quais produtos devem receber atenção e quais não

precisam ser priorizados. No cenário atual, de alta competitividade e busca por melhorias contínuas, esse método mostra-se essencial.

2.9 PROCESSO DE SIMULAÇÃO

2.9.1 Sistema Real

Um sistema, no contexto da simulação, refere-se a um grupo de objetos que interagem ou interdependem entre si, ou seja, é um conjunto de interações. No mundo existem inúmeras interações entre pessoas, materiais e o meio ambiente. Essas relações podem produzir vários resultados. Por exemplo, um processo produtivo possui interações entre as matérias-primas, máquinas, ferramentas e pessoas, resultando na fabricação de produtos (PRITSKER, 1995; PRADO, 2009).

Os sistemas podem ser classificados em contínuos ou discretos. Nos sistemas contínuos o objeto em análise possui a forma de quantidades contínuas, como, por exemplo, o fluxo de um líquido. No discreto, os objetos de estudo são inteiros ou discretos, como produtos, prateleiras e pessoas. A simulação de sistemas contínuos é utilizada nas áreas de engenharia eletromecânica ou de processos químicos, na qual os componentes podem ser representados por equações diferenciais da física tradicional. E a simulação de sistemas discretos é amplamente aplicada na área de engenharia de produção e de engenharia de sistemas (PRADO, 2009).

Contudo, como visto anteriormente, em geral não se consegue ou não é essencial considerar todas as informações, então, para representar esses sistemas, são utilizados os modelos (GORDON, 1969).

2.9.2 Modelo

Segundo Gordon (1969), os modelos são simplificações dos sistemas reais, pois não levantam todos os dados. Normalmente é impraticável ou não relevante englobar todas as informações do sistema no modelo. O principal objetivo da criação dos modelos é entender algum comportamento do sistema real, de modo a propor

uma resposta adequada para a resolução de algum problema (GORDON, 1969; MALIGO, 2005).

Os modelos possuem inúmeras classificações. São nomeados icônicos, quando mudam a escala dos sistemas reais, por exemplo, pode-se analisar atributos de uma casa que será construída por meio da fabricação de uma maquete. Um modelo é tido como analógico quando as características de um sistema são retratadas como características equivalentes de outro sistema, como descrever um sistema mecânico como um sistema elétrico. Se a similaridade do modelo com o sistema real for apenas conceitual, chamamos esses modelos de simbólicos. Os modelos matemáticos referem-se aos modelos que podem ser descritos e estudados por um grupo de equações matemáticas. E quando as propriedades do sistema são apresentadas por um diagrama, os modelos são conhecidos como diagramáticos (PRADO, 2009).

Banks et al. (1984) apresentam outras classificações, nas quais os modelos podem ser classificados de acordo com a sua variação no tempo (modelo estático ou dinâmico), com a existência de variáveis de entrada aleatórias (modelo determinístico ou estocástico) e por fim de acordo com o modo que é analisado o comportamento das variáveis (modelo discreto ou contínuo).

- Modelo estático: esse modelo não considera a variável tempo, ou seja, representa o sistema apenas em um instante de tempo;
- Modelo dinâmico: representa a variação do sistema no tempo;
- Modelo determinístico: nesse modelo não existem variáveis aleatórias de entrada;
- Modelo estocástico: ao contrário do modelo determinístico, existe pelo menos uma variável aleatória de entrada;
- Modelo discreto: considera o comportamento das variáveis de estado mudando em períodos de tempo divididos apropriadamente;
- Modelo contínuo: considera o comportamento instantâneo da variável em relação a cada parcela de tempo.

O modelo de simulação empregado no presente trabalho consiste em um modelo simbólico-diagramático-computacional. De acordo com o modo que o comportamento das variáveis é analisado, o modelo ainda pode ser classificado como discreto, pois não considera o comportamento instantâneo da variável em relação a cada fração de tempo. Esse modelo substituirá um sistema discreto, e para simulação

desse tipo de sistema é muito utilizado, desde o século passado, a simulação de Monte Carlo.

2.9.3 Simulação

A simulação é uma ferramenta utilizada para solucionar algum problema, por intermédio da avaliação e estudo de um modelo que representa o funcionamento do sistema, utilizando um computador (PRADO, 2010).

O processo de simulação consiste na experimentação de um modelo para observar e identificar como o sistema se comportará com mudanças em seu ambiente, estrutura ou condições de contorno (SILVA; PINTO; SUBRAMANIAN, 2007). Corroborando com esse conceito, Prado (2009) relata que na área de engenharia, a simulação é empregada para compreender os atributos de um sistema por meio da análise de um modelo semelhante. O autor ainda comenta que dependendo do âmbito em que a simulação é aplicada, os procedimentos e métodos utilizados são totalmente distintos.

A simulação pode ser empregada na gestão da armazenagem em armazéns e em sistemas de distribuição, na qual é possível modelar e simular o *layout*, os fluxos de pessoas e materiais, os procedimentos de trabalho, os equipamentos de coleta e a alocação dos recursos e produtos (CASSEL et al., 2002).

2.9.3.1 Simulação de monte carlo

Em 1946 o matemático Stanislaw Ulam teve suas primeiras concepções e execuções do método de Monte Carlo. Estimuladas por um problema que surgiu quando Ulam estava em um jogo de cartas. Ele se questionou sobre a probabilidade de um jogo de paciência ser bem-sucedido. Tentou, por muito tempo, calcular a probabilidade usando a análise combinatória convencional. Depois de não obter sucesso, pensou se não seria mais prático realizar diversos jogos, por exemplo 100, e contabilizar os sucessos. Dessa forma, poderia chegar a uma aproximação da probabilidade desconhecida. Esse fato coincidiu com o desenvolvimento de computadores mais velozes, portanto, Ulam instantaneamente pensou em questões

de difusão de nêutrons e outros problemas da física, que são representados com equações diferenciais (ECKHARDT, 1987).

Prado (2009) afirma que a simulação de Monte Carlo é um método que consegue recriar dentro de um modelo, o funcionamento do sistema real. Ainda de acordo com Prado (2009, p. 103), esse método consiste em “uma maneira de transformar um conjunto de números aleatórios em outro conjunto de números (variáveis aleatórias), com a mesma distribuição da variável considerada”. Em resumo, a simulação de Monte Carlo estima propriedades determinísticas ou estocásticas baseadas em um grupo de números aleatórios (TAHA, 2008).

Quando a simulação de Monte Carlo é executada com uma grande quantidade de números, os parâmetros encontrados possuem extrema similaridade com os parâmetros reais. Outro ponto positivo desse método, é que se utilizado para todo o sistema, ele permite a recriação de todos os parâmetros aleatórios. Dessa forma, esse procedimento possibilita verdadeiramente simular o andamento do sistema real (PRADO, 2009).

2.9.4 Algoritmo *Breath-First Search* (BFS)

Na simulação do presente estudo, os menores caminhos possíveis e coerentes entre os pontos do armazém serão identificados por intermédio do algoritmo *Breath-First Search* (BFS). O BFS também será responsável por calcular as distâncias totais percorridas nesses caminhos. Desse modo, torna-se relevante compreender o funcionamento, vantagens e desvantagens desse algoritmo.

O BFS é um relevante bloco de construção (*building block*) para vários algoritmos de grafos. O BFS em grafos é um problema significativo e importante, que atrai a atenção de diversas comunidades científicas. É um dos melhores algoritmos que compreendem travessias de grafos, normalmente, aplicado para verificar a conexão ou para calcular e identificar os menores caminhos da origem de grafos (BEAMER; ASANOVIC; PATTERSON, 2013; PAN; PEARCE; OWENS, 2018).

No método BFS, a partir do nó (vértice) de origem, a fronteira amplia-se no decorrer de cada fase, visitando todos os nós no mesmo nível n antes de visitar os nós dos próximos níveis. Em uma fase da abordagem tradicional de cima para baixo, cada nó averigua todos os seus vizinhos para descobrir se algum não está visitado.

Os vizinhos não visitados são identificados como visitados, dessa forma, determina-se a variável pai. O algoritmo BFS cria uma árvore, armazenando o caminho para o componente conectado que possui o nó de origem. Além da variável pai, outras informações podem ser armazenadas nos nós da árvore. Por exemplo, um número que indica o seu nível na árvore ou uma variável booleana, que sinaliza se o nó foi ou não visitado (ZHOU; HANSEN, 2005; BEAMER; ASANOVIC; PATTERSON, 2013).

No BFS, algoritmo que utiliza a árvore de rastreamento, a busca inicia definindo o estado inicial e o estado objetivo/meta, em seguida a lógica do algoritmo encontra a solução ótima para o problema (RAHIM et al.; 2018). O algoritmo BFS armazena todos os nós formados do grafo de busca na memória. Os nós na fronteira de pesquisa são armazenados em uma lista aberta. E os nós visitados/ampliados são armazenados em uma lista fechada. Esse fato gera uma restrição de memória, que limita profundamente a escalabilidade do algoritmo (ZHOU; HANSEN, 2005).

Existem dois motivos para guardar todos os nós formados. Primeiro, para que os estados obtidos no decorrer de um caminho sejam identificados quando forem obtidos novamente na formação de outro caminho, desse modo, evita-se a criação de nós repetidos que retratam o mesmo estado. Esse fato é denominado detecção duplicada (*duplicate detection*). O segundo motivo é para ser possível refazer o caminho da solução depois do término da busca pelo método *traceback*. Cada nó guarda um ponteiro para seu nó pai por toda a extensão do melhor caminho, esse é reconstruído perseguindo os ponteiros anteriores, do nó meta até o nó inicial. Para realizar essas duas funções é preciso armazenar todos os nós criados, entretanto, não é preciso guardar todos os nós para realizar apenas uma das funções (ZHOU; HANSEN, 2005).

Verificar e analisar o fim da fronteira para saber se o local final foi visitado representa a maior parte do trabalho computacional do BFS. No algoritmo BFS com abordagem tradicional de cima para baixo, a quantidade total de averiguações de aresta é igual a quantidade de arestas no componente conectado que possui o nó de origem. Visto que em cada fase toda aresta na fronteira é averiguada (BEAMER; ASANOVIC; PATTERSON, 2013).

Portanto, obter um bom desempenho com o algoritmo BFS é desafiador. Parte desse fato se deve aos padrões de acesso à memória irregular provocados pelo algoritmo e à baixa densidade de aritmética computacional (PAN; PEARCE; OWENS, 2018). O algoritmo BFS possui duas desvantagens. Primeira, o uso demasiado da

memória, visto que armazena todos os nós do grafo. E o alto tempo de execução, uma vez que verifica o nível anterior, o algoritmo verificará o nível n para deter uma solução no nível $n + 1$. Contudo, a principal vantagem do BFS é que sempre encontrará a melhor solução para o problema (GHOSH; BHATTACHARJEE, 1984).

2.9.5 Justificativa para o Uso da Simulação

A utilização da simulação se justifica pelo fato de que ao se modelar e simular algum sistema, os gerentes possuirão dados que os auxiliarão a não tomar decisões erradas que resultem em custos adicionais (KELTON et al., 1998).

O aumento da competitividade entre as empresas força com que mais restrições sejam consideradas nos problemas, tornando-os ainda mais complexos. Desse modo, os procedimentos de resolução de problemas convencionais podem não ser mais adequados (SHIH, 2005).

Freitas Filho (2008) relata que a utilização da simulação deve ser considerada quando algum dos seguintes fatores forem satisfeitos:

- Não existe formulação matemática completa para o problema;
- Não existe solução analítica para o problema;
- É mais fácil resolver o problema por meio da simulação do que pelo modelo analítico;
- Não existe conhecimento para a resolução do modelo por técnicas analíticas ou numéricas;
- É preciso analisar o processo do início ao fim, mas não especificamente os detalhes;
- A aplicação de possíveis soluções no sistema real é complexa ou impossível;
- É relevante analisar longos períodos de tempo.

E por fim, Prado (2009, p. 100) relata que um dos principais momentos que se justifica o uso da simulação é quando “o sistema em estudo não existe, por exemplo, quando se estuda a construção de uma nova fábrica”.

2.9.6 Vantagens e Desvantagens da Simulação

Algumas vantagens e desvantagens da simulação são apresentadas por Pedgen et al. (1995) e Freitas Filho (2008). As vantagens são:

- Sistemas reais podem não serem descritos adequadamente por modelos matemáticos que são resolvidos com técnicas analíticas;
- Novos procedimentos operacionais, regras de decisão e políticas podem ser utilizados e analisadas sem parar o sistema;
- Novos equipamentos podem ser testados sem serem adquiridos fisicamente;
- Novos arranjos físicos podem ser testados sem modificar o arranjo físico atual;
- Permite analisar o desempenho dos sistemas sob circunstâncias de operação projetadas, por exemplo, analisar o funcionamento do sistema quando a demanda aumenta;
- Permite identificar os gargalos do sistema;
- Obtenção de informações mais rapidamente quando comparado ao sistema real.

Entre as desvantagens, pode-se citar:

- Necessidade de treinamento para a criação de modelos;
- Possível dificuldade de interpretação dos resultados da simulação;
- A simulação estocástica produz apenas estimativas dos parâmetros;
- O desenvolvimento do modelo de simulação, normalmente consome muito tempo.

3 METODOLOGIA

A pesquisa busca apresentar soluções para o problema proposto de identificar qual a influência das disposições internas dos produtos sobre a distância total percorrida por meio de um procedimento lógico e metódico. Dessa forma, o presente capítulo apresenta a definição do local e da população juntamente com os procedimentos e as ferramentas utilizadas para a operacionalização das variáveis para que se traga uma solução para a pergunta problema.

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

As pesquisas podem ser classificadas mediante a diversos critérios como a abordagem, a natureza, os objetivos e os procedimentos utilizados para a coleta de informações. O presente trabalho utiliza-se da simulação, implementada na linguagem de programação JavaScript, para avaliar a eficiência de diferentes procedimentos de designação de locais de armazenagem. Será simulado o processo de coleta em oito situações diferentes da disposição dos produtos em um armazém. A intenção é avaliar o desempenho dos procedimentos aplicados, através da análise da distância percorrida durante o processo de coleta de pedidos.

Em relação a abordagem, este trabalho se caracteriza possuindo uma abordagem quantitativa devido à análise das distâncias totais percorridas pelo coletor. A abordagem quantitativa, segundo Bisquerra, Sarriera e Martínez (2004), refere-se à utilização da quantificação da coleta de dados e da análise desses.

Segundo Gil (2002), as pesquisas podem ser classificadas de acordo com os motivos que estimulam a sua realização. Podem possuir motivos intelectuais (natureza pura), quando a pesquisa surge pela satisfação de se aprender, ou motivos práticos (natureza aplicada), que surgem da necessidade de se aprender métodos mais eficientes para realizar algo. Sendo assim, pode-se classificar esse trabalho como uma pesquisa de natureza aplicada, pois surge da necessidade de conhecer quais dos procedimentos propostos torna o processo de coleta de pedidos mais eficiente.

No entanto, é inapropriado analisar as pesquisas com classificações isoladas, pois elas não são excludentes. Um trabalho com motivos intelectuais pode trazer conhecimentos possíveis de se implementar para a solução de problemas práticos. De forma semelhante, um trabalho com natureza aplicada pode descobrir novos conhecimentos científicos (GIL, 2002).

Quanto aos objetivos, o presente trabalho pode ser classificado como uma pesquisa descritiva, visto que essa categoria de estudos busca encontrar relações entre variáveis. As pesquisas descritivas podem realizar mais do que apenas encontrar possíveis associações entre variáveis, podem também definir o tipo e a intensidade dessas relações. Nesta situação a pesquisa descritiva se assemelha a um estudo explicativo. No entanto, quando a pesquisa descritiva promove uma perspectiva diferente do problema, essa se assemelha ao estudo exploratório (GIL, 2008). Esse trabalho busca encontrar a relação da localização dos produtos no armazém com o aumento da eficiência do processo de coleta. A intensidade dessa associação será medida pela distância total percorrida pelo coletor após o término da simulação.

Contudo, para comparar a perspectiva teórica com elementos da realidade é interessante criar um modelo conceitual também conhecido como delineamento. O delineamento pondera o âmbito onde são coletadas as informações e as maneiras de coordenar as variáveis relacionadas. Portanto, para identificar o delineamento, o fator mais relevante é o procedimento utilizado para a coleta de informações (GIL, 2002, 2008).

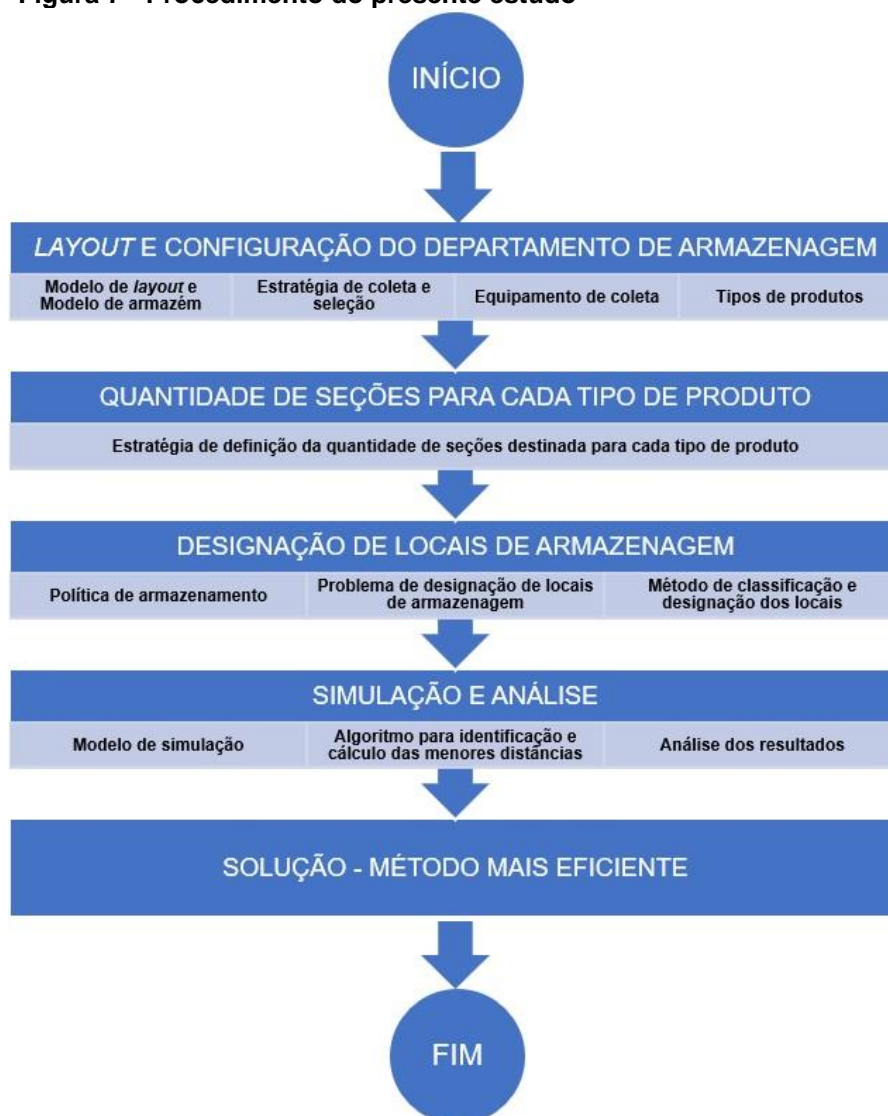
Dessa forma, quanto aos procedimentos, o presente trabalho se define como pesquisa bibliográfica e experimental. Gil (2008, p. 50) relata que “a pesquisa bibliográfica é desenvolvida a partir de material já elaborado”. O trabalho caracteriza-se como estudo bibliográfico porque para obter as noções teóricas necessárias para fundamentá-lo, consultou-se livros e artigos científicos dos autores mais renomados no assunto de pesquisa, assim como trabalhos de conclusão de curso e dissertações de mestrado.

E por último, este trabalho é classificado também como uma pesquisa experimental. Essa classificação refere-se a estabelecer o objeto de pesquisa e a identificar as variáveis que o afetam, bem como determinar como será realizado a coordenação e observação da influência das variáveis. Esse tipo de pesquisa é essencial para observar a causa e efeito entre as variáveis (GIL, 2002).

3.2 OPERACIONALIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS

O procedimento original do presente trabalho de avaliação do desempenho dos métodos de designação dos locais de armazenagem é constituído por quatro fases diferentes: *layout* e configuração do departamento de armazenagem; determinação da quantidade de seções para cada tipo de produto; designação dos locais de armazenagem; e por fim a simulação e análise. A sequência das fases com seus respectivos conjuntos de decisões é apresentada na Figura 7.

Figura 7 - Procedimento do presente estudo

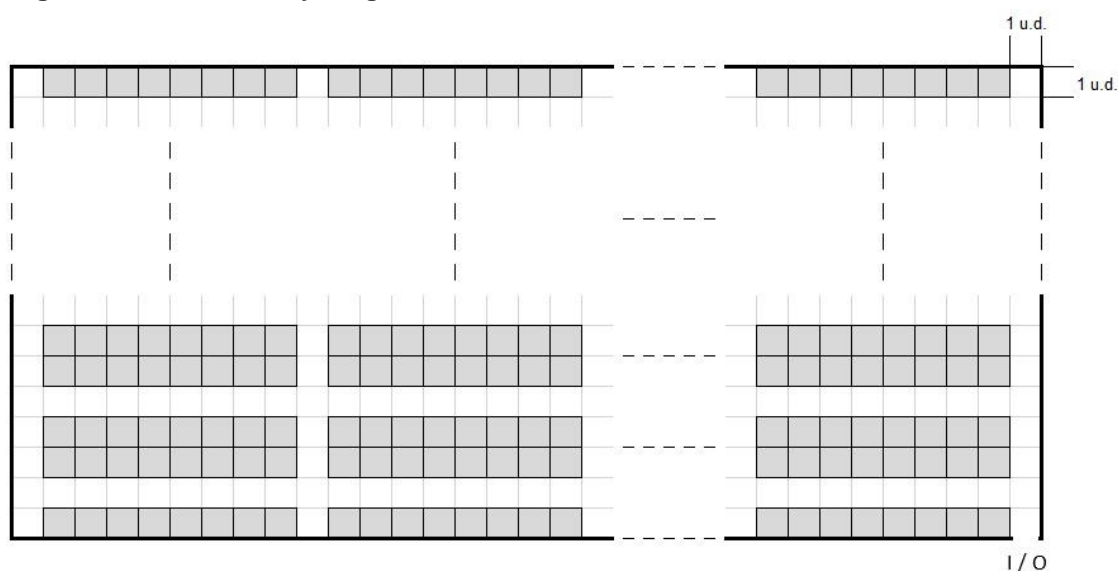


Fonte: Autoria Própria (2017)

3.2.1 *Layout* e Configuração do Departamento de Armazenagem

O ambiente onde serão aplicados os quatro procedimentos de designação dos locais de armazenagem para gerar os cenários trata-se de um modelo de armazém proposto. Posteriormente, nesse mesmo ambiente, será simulado o processo de coleta de pedidos. Para fins didáticos, as dimensões do modelo, incluindo as dimensões dos corredores e prateleiras serão representadas por unidades de distância (u.d.) ao invés de alguma unidade de medida convencional. A Figura 8 retrata o modelo de *layout* geral do departamento de armazenagem.

Figura 8 - Modelo de *layout* geral do armazém



Fonte: Autoria Própria (2017)

O modelo de *layout* será retangular, pois segundo Bassan et al. (1980) esse é o melhor formato para estocar produtos em prateleiras também retangulares. O modelo pode possuir “k” blocos de prateleiras. Cada bloco é constituído por duas prateleiras simples, encostadas nas paredes frontal e dos fundos do modelo, e por “o” prateleiras duplas.

Cada lado das prateleiras duplas ou as prateleiras simples podem possuir “p” seções de armazenamento. Essas seções são quadradas, possuindo lados iguais.

O modelo de *layout* pode possuir “r” corredores longitudinais (corredores de coleta) por bloco. A quantidade de corredores longitudinais é diretamente relacionada ao número de prateleiras duplas. As prateleiras estão dispostas paralelamente na

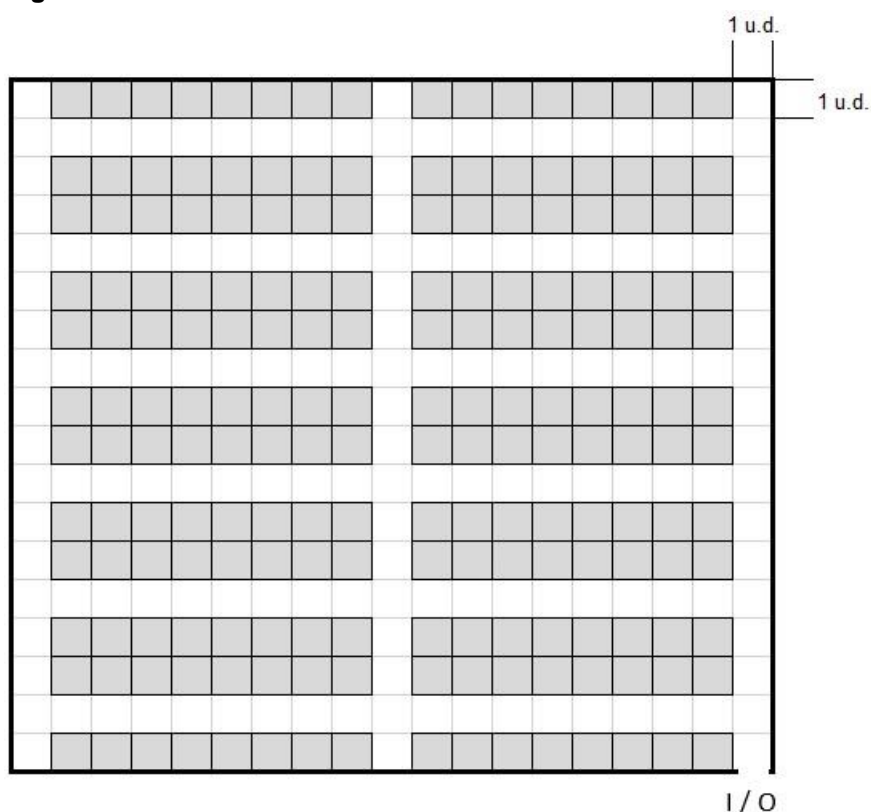
horizontal, desse modo, os corredores longitudinais também estão dispostos da mesma forma.

Os corredores possuem comprimento igual a número de seções por prateleira simples ou por lado da prateleira dupla. Deve-se salientar que os corredores longitudinais são estreitos. Portanto, o operador, após coletar um produto em uma prateleira de um lado do corredor, não precisará realizar um movimento adicional para coletar em uma prateleira do outro lado.

O modelo de *layout* pode possuir “t” corredores transversais. Dois dos corredores transversais sempre estarão entre as paredes laterais e os blocos de prateleiras; e os demais estarão separando os blocos. A entrada e saída de produtos ocorre através de apenas uma porta. A porta localiza-se de frente para o último corredor transversal do lado direito na parede frontal do modelo.

Contudo, o modelo de *layout* apresentado, apesar de possuir uma disposição fixa dos elementos (blocos, prateleiras e corredores), é generalista. O armazém pode possuir diversos tamanhos, dependendo da quantidade dos elementos. No entanto, para realizar a designação de locais de armazenagem é necessário saber a quantidade total de prateleiras e de seções de armazenamento. Do mesmo modo, para simular o processo de coleta de pedidos é necessário saber a quantidade e as dimensões dos corredores longitudinais e transversais. Portanto, para a realização do presente trabalho, será proposto um modelo de armazém com o número de blocos, prateleiras e seções de armazenamento pré-definidos. A Figura 9 apresenta o modelo de armazém analisado.

Figura 9 - Modelo de armazém



Fonte: Autoria Própria (2017)

O modelo de armazém é constituído por dois blocos, que possuem duas prateleiras simples e cinco duplas. As prateleiras duplas possuem dezesseis seções de armazenamento, sendo oito em cada lado. Consequentemente, as simples possuem apenas oito seções. Essas seções são quadradas, possuindo 1 u.d. de lado. O modelo de armazém possui um total de 192 seções de armazenamento.

O modelo possui seis corredores longitudinais paralelos na horizontal em cada bloco. Esses corredores possuem comprimento igual ao número de seções por prateleira simples ou por lado da prateleira dupla (S), portanto 8 u.d. e largura de 1 u.d.

O modelo possui três corredores transversais. Dois desses estão entre as paredes laterais e os blocos de prateleiras e um se encontra no centro, separando os dois blocos. Esses corredores e, conseqüentemente, o modelo de armazém possuem 18 u.d. de comprimento. Os corredores transversais possuem 1 u.d. de largura.

Ao observar a largura dos corredores transversais e a quantidade de seções de armazenamento na prateleira simples em cada bloco, conclui-se que o modelo de armazém possui 19 u.d. de largura. A porta do armazém permanece na mesma

localização do modelo de *layout*, na frente do último corredor transversal do lado direito na parede frontal do modelo.

3.2.1.1 Definição do processo de coleta

A estratégia de organização da atividade de coleta de pedidos será a coleta em lotes. Segundo Sakaguti (2007), na estratégia de coleta em lotes, o operador coleta um lote de pedidos, em vez de coletar um pedido isolado por vez. Dessa maneira, ao movimentar-se até a área de armazenagem, o coletor recolhe a quantidade de produtos necessária para satisfazer o grupo de pedidos.

A estratégia de coleta em lotes, apesar de diminuir o tempo de coleta, torna o reordenamento mais complexo. O presente estudo utilizará a estratégia de coleta em lotes *pick-and-sort*, na qual primeiro coletam-se os produtos e depois os classifica-se em pedidos dos clientes. O *pick-and-sort* proporciona uma alta taxa de coleta, entretanto, necessita de uma fase adicional para a consolidação dos pedidos. Contudo, o presente trabalho não simulará essa etapa adicional. Dessa forma, não faz parte do escopo do estudo observar e analisar a atividade de consolidação.

A coleta e seleção de pedidos é realizada manualmente por apenas um coletor utilizando um carrinho elétrico com capacidade máxima de 3000 u.m. Sempre que o equipamento não conseguir suportar a coleta de mais nenhuma unidade o coletor deve retornar ao ponto de entrada e saída para descarregar o equipamento, só então poderá continuar com o processo de coleta. Desse modo, se depois de retirar toda a quantidade necessária de um tipo de produto, o equipamento ainda possuir capacidade ociosa, o operador coletará o próximo tipo da lista.

O descarregamento ocorrerá quando o operador chegar ao último ponto inferior a direita (coordenadas X:18, Y:17), na frente da porta do departamento. Na simulação, o operador não precisará deslocar-se para fora do departamento. A primeira viagem de coleta de cada lista e as viagens após os descarregamentos iniciarão desse ponto, sendo assim, as distâncias não o considerarão.

3.2.1.2 Definição dos tipos de produtos

Uma lista de quinhentos tipos de produtos será criada aleatoriamente utilizando o *software* Microsoft Excel, definindo assim algumas de suas características. Cada tipo de produto terá duas características, a demanda mensal e a massa em u.m. As demandas serão geradas aleatoriamente com valores que variam de 450 a 2000 unidades por mês. De modo análogo, as massas dos produtos também serão geradas de maneira aleatória com valores que variam de 5 a 50 u.m. Com o propósito de facilitar os cálculos e a simulação os valores para as massas dos produtos devem ser números inteiros.

Os procedimentos de classificação e alocação serão aplicados para a designação dos locais de armazenagem de vinte exemplos diferentes de produtos. Os vinte tipos de produtos serão retirados aleatoriamente da lista de quinhentos produtos. Cada tipo de produto terá uma quantidade de unidades de controle de estoque (Q_{SKU_i}) igual a dez vezes a quantidade de seções destinadas para aquele tipo (Q_{s_i}). Cada seção armazenará dez unidades de controle de estoque (*Stock Keeping Unit* – SKU). A Equação 1 apresenta como calcular a quantidade de SKU's para cada tipo de produto.

$$Q_{SKU_i} = 10 \times Q_{s_i} \quad (1)$$

Onde:

- Q_{SKU_i} : quantidade de SKU's para o tipo de produto i ;
- Q_{s_i} : quantidade de seções de armazenamento destinada para o tipo de produto i .

O conceito e cálculo dessa quantidade de seções para cada tipo de produto são apresentados na próxima seção.

3.2.2 Quantidade de Seções de Armazenamento para Cada Tipo de Produto

Essa fase também é preparatória e refere-se à determinação da quantidade de seções de armazenamento destinadas para cada tipo de produto. A quantidade de seções influencia diretamente na periodicidade dos reabastecimentos, pois, os tipos de produtos possuem demandas diferentes. Para o cumprimento dessa fase foi

escolhido aplicar a estratégia de nível de estoque ótima (OPT). Como já dissertado na fundamentação teórica, segundo Hackman e Rosenblatt (1990), a estratégia ótima (OPT) destina uma porcentagem do total de seções de armazenamento para cada tipo de produto de modo a minimizar a quantidade de reabastecimentos. Contudo, deve-se salientar que não é do escopo do presente estudo observar e analisar o reabastecimento, portanto, esse processo não será simulado. A porcentagem das seções de armazenamento por meio da OPT é encontrada utilizando a Equação 2.

$$V_i = \frac{\sqrt{D_i}}{\sum_i^n \sqrt{D_i}} \quad (2)$$

Onde:

- V_i : porcentagem do total de seções de armazenamento destinada para o tipo de produto i ;
- D_i : demanda do tipo de produto i em um período de tempo;
- n : número total de tipos de produtos.

A Equação 2 refere-se à fração do total de seções disponíveis. Para obter o número de seções de armazenagem para cada tipo de produto deve-se multiplicar a porcentagem pelo número total de seções do departamento, conforme mostra a Equação 3.

$$Q_{s_i} = V_i \times N_t \quad (3)$$

Onde:

- Q_{s_i} : quantidade de seções de armazenagem destinada para o tipo de produto i ;
- N_t : número total de seções de armazenagem do departamento.

3.2.3 Designação de Locais de Armazenagem

Esta fase está relacionada com a atribuição dos produtos nas seções de armazenagem. A política de armazenagem escolhida é a política baseada em classe, que consiste em agrupar os tipos de produtos em classes e alocar cada classe a uma área específica dentro do departamento de armazenagem.

Conceitualmente os produtos são armazenados aleatoriamente ou utilizando algum parâmetro pouco complexo dentro do espaço destinado a classe. No entanto, o presente trabalho propõe além da separação dos tipos de produtos em classes, estipular critérios mais eficientes para o armazenagem dentro da área de cada

classe. Outra proposta desse estudo é considerar que a capacidade de carga do equipamento de coleta utilizado afeta de maneiras diferentes a distância total percorrida pelo coletor, dependendo de como os produtos estão alocados.

O problema apresentado no presente estudo é caracterizado como um problema de designação dos locais de armazenagem baseado nas informações do produto (SLAP/PI). Os procedimentos escolhidos para a classificação e alocação são a Classificação ABC com a demanda mensal e versões adaptadas da Classificação ABC usando a massa e combinações da massa com a demanda. As versões adaptadas são procedimentos que possuem o método de implementação semelhante ao da Classificação ABC.

De acordo com Slack, Chambers e Johnston (2002), a Classificação ABC pode ser utilizada para a classificação dos produtos estocados. Confirmando as escolhas dos procedimentos, Chan e Chan (2011) afirmam que esse procedimento é o mais aplicado nos casos de SLAP/PI com a política de armazenagem baseada em classe. A Classificação ABC é a aplicação do Diagrama de Pareto para a gestão da armazenagem. Surgiu do princípio econômico estabelecido por Vilfredo Pareto, esse princípio relata que uma pequena parcela da população detinha a maior parte da renda (PALADINI, 1998; BERNARDI, 2008).

Serão criados dois cenários para cada procedimento de classificação e alocação. Um cenário refere-se à disposição dos produtos no armazém depois da classificação e alocação dos mesmos por meio de algum procedimento. Os cenários são formados utilizando os seguintes parâmetros:

- Cenário 1: classificação usando a demanda mensal;
- Cenário 2: classificação usando a demanda mensal;
- Cenário 3: classificação usando a massa dos produtos;
- Cenário 4: classificação usando a massa dos produtos;
- Cenário 5: classificação usando a demanda mensal e subclassificações usando a massa dos produtos;
- Cenário 6: classificação usando a demanda mensal e subclassificações usando a massa dos produtos;
- Cenário 7: classificação usando a massa dos produtos e subclassificações usando a demanda mensal;

- Cenário 8: classificação usando a massa dos produtos e subclassificações usando a demanda mensal.

De acordo com Frazelle (2002) e Gu, Goetschalckx e McGinnis (2007) a popularidade é um dos critérios mais aplicados para classificar e atribuir as classes dentro do armazém. Como relatado no referencial teórico, a popularidade refere-se ao número de viagens de armazenamento por período de tempo. Dessa forma, a demanda é considerada nos procedimentos que usam a popularidade para a classificação e alocação dos tipos produtos (FRAZELLE, 2002; PAN; SHIH; WU, 2012).

A armazenagem dos produtos com maior demanda próximos do ponto de entrada e saída do armazém, possibilita uma redução no tempo de movimentação e coleta de pedidos (ACCORSI; MANZINI; BORTOLINI, 2012). Por esses motivos, os cenários 1 e 2 serão criados utilizando apenas o critério demanda, desse modo, será possível verificar isoladamente a eficiência desse parâmetro. Primeiro deve-se calcular a frequência relativa de cada tipo de produto (f_{r_i}) a partir da demanda, para isso adotou-se a Equação 4.

$$f_{r_i}(\%) = \frac{D_i}{\sum_i^n D_i} \times 100 \quad (4)$$

Onde:

- D_i : demanda do tipo de produto i em um período de tempo;
- n : número total de tipos de produtos.

O segundo passo é organizar a lista de tipos de produtos ordenando a frequência relativa de modo decrescente. A partir da lista reordenada, calcula-se a frequência acumulada (f_{ac_i}). Para o primeiro tipo de produto a frequência acumulada é igual a frequência relativa. O cálculo da frequência acumulada pode ser representado pela Equação 5.

$$f_{ac_i}(\%) = f_{ac_{i-1}} + f_{r_i} \quad (5)$$

As porcentagens utilizadas para definir quais tipos de produtos pertencem a classe A, B ou C estão presentes nos intervalos apresentados no referencial teórico por Martins e Alt (2009). As porcentagens definidas e empregadas serão fixas para todas as classificações e subclassificações desse estudo para a padronização dos procedimentos de classificação. Sendo assim, a definição dos tipos de produtos pertencentes à cada classe ocorrerá da seguinte maneira. Os tipos cuja soma de suas

demandas representa aproximadamente 60% do somatório total, são enquadrados na classe A. Os próximos produtos da lista cujo somatório das demandas corresponder a quase 30% da demanda total, são enquadrados na classe B. E por fim, na classe C são designados o restante dos produtos que compreendem apenas 10% da demanda total.

A classe A será alocada nas seções próximas ao ponto de entrada e saída de produtos. Deve-se respeitar a quantidade de seções de armazenamento destinada para cada tipo de produto calculada anteriormente na segunda fase desse estudo. Consecutivamente, serão alocadas as classes B e C, de forma que a classe C se encontre mais distante da porta do departamento. Dentro de cada classe os tipos de produtos com maior frequência relativa serão armazenados mais próximos ao ponto de entrada e saída de produtos. Essas regras de alocação das classes dentro do armazém serão aplicadas em todos os procedimentos de classificação e alocação independentemente do critério utilizado para a classificação.

Os cenários 3 e 4 serão criados por meio da aplicação de uma versão adaptada da Classificação ABC, que utiliza a massa dos tipos produtos como critério para separá-los em classes e alocá-los no armazém. O equipamento de coleta possui uma capacidade máxima e quando, após a coleta de muitas unidades, não couber mais nenhuma unidade, o coletor deverá retornar ao ponto de entrada e saída para descarregar o equipamento antes de prosseguir com a coleta. O coletor retirará diversos produtos de diferentes massas e ao chegar no fundo do armazém a capacidade estará no limite.

Sendo assim, a distância percorrida para descarregar o equipamento será maior do que se não coubesse mais nenhuma unidade nas proximidades da porta. Ao priorizar o armazenamento dos tipos de produtos com maior massa próximo do local de entrada e saída, teoricamente garante-se que não se consiga carregar mais nenhuma unidade próximo desse local. E quando o coletor retirar os produtos mais leves localizados no fim do armazém, só não caberá mais unidades após a coleta de muitos produtos.

Para os cenários 3 e 4, primeiro calcula-se a porcentagem relativa da massa de cada tipo de produto (M_{r_i}). Sendo assim, foi adotada a Equação 6.

$$M_{r_i}(\%) = \frac{m_i}{\sum_i^n m_i} \times 100 \quad (6)$$

Onde:

- m_i : massa do tipo de produto i .

O próximo passo é ordenar a porcentagem relativa de modo decrescente. Depois da lista reorganizada, calcula-se a porcentagem acumulada da massa (M_{ac_i}), utilizando o mesmo procedimento da frequência acumulada, com a Equação 8.

Uma vez que as porcentagens foram fixadas, a definição dos tipos de produtos enquadrados em cada classe ocorrerá de modo análogo ao procedimento empregado para a formação dos cenários 1 e 2. São colocados na classe A os tipos de produtos cujo somatório das massas corresponde a cerca de 60% da soma total. Os próximos produtos da lista, cuja soma das massas representa próximo de 30% do somatório total, são enquadrados na classe B. E a classe C é atribuída aos últimos produtos da lista que compreendem aproximadamente 10% do somatório total das massas. Dentro de cada classe os tipos de produtos com maior porcentagem relativa da massa serão armazenados mais próximos da porta do departamento.

Por último, os cenários 5, 6, 7 e 8 serão criados a partir da aplicação de procedimentos de classificação e alocação que utilizam a demanda mensal e a massa dos produtos. Primeiro classificam-se os tipos de produtos usando um critério e posteriormente subclassificam-se os tipos de produtos de cada classe usando o outro critério. Dessa forma, busca-se unir as melhores características proporcionadas por cada critério. Nos cenários 5 e 6, primeiro classificam-se os tipos de produtos com a demanda mensal e depois subclassificam-se os tipos de cada classe utilizando a massa dos produtos. Para os cenários 7 e 8 a ordem é invertida, primeiro classificam-se os tipos de produtos utilizando suas massas e depois subclassificam-se os tipos de cada classe utilizando a demanda mensal.

As porcentagens de definição também foram fixadas para as subclassificações. Contudo, deve-se salientar que para as subclassificações o somatório total refere-se ao somatório para os tipos de produtos pertencentes à classe em que se realiza a subclassificação. Usa-se a mesma regra de alocação aplicada nos procedimentos anteriores tanto para a alocação das classes, quanto das subclasses. Dentro das subclasses dos cenários, os tipos de produtos com maior porcentagem relativa da massa ou frequência relativa são armazenados mais próximos da porta do departamento.

Nos cenários 5 a 8, se a quantidade de tipos de produtos em cada classe for suficientemente pequena para inviabilizar a subclassificação respeitando as

porcentagens fixadas, aplica-se a lógica e a coerência. Por exemplo, se existir apenas três tipos de produtos na classe cada um deles irá representar isoladamente uma das subclasses. Outro exemplo é se existir apenas dois tipos de produtos, aquele com maior frequência relativa ou porcentagem relativa na subclassificação deve estar mais próximo à porta do departamento.

Cada seção de armazenamento do departamento armazena dez SKU's. Durante a atividade de seleção de pedidos, coleta-se a quantidade necessária de uma SKU. Por exemplo, suponha-se que se deve coletar 50 itens da SKU 1.79, essa estará presente em apenas uma seção de armazenamento. Desse modo, depois de alocadas as classes e os tipos de produtos, deve-se determinar quais SKU's estarão estocadas em cada seção. As SKU's serão atribuídas de modo crescente em relação ao ponto de entrada e saída do departamento.

3.2.4 Simulação e Análise

Após criados os oito cenários, será realizada a simulação do processo de coleta de pedidos em todas as situações. Todavia, antes do detalhamento do processo de simulação, é necessário, para sua correta compreensão, classificar o modelo de simulação empregado. O modelo de simulação utilizado no presente trabalho consiste em um modelo simbólico-diagramático-computacional. O termo computacional diz respeito ao fato de a simulação ser realizada em um computador. O modelo é simbólico porque a simulação do processo de coleta de pedidos em um armazém será representada por uma matriz percorrida e verificada por um algoritmo, ou seja, o modelo apenas se assemelha conceitualmente a uma coleta real. A ordenação das listas de coleta também será implementada na linguagem de programação. Por fim, nessa classificação, o modelo é diagramático por apresentar em um diagrama alguns dos parâmetros do sistema.

Para a simulação do processo de coleta de pedidos serão geradas aleatoriamente dez listas de produtos a serem coletados representando a coleta de dez dias. Cada lista terá o tamanho variando de 1 a 20 SKU's, essas serão escolhidas aleatoriamente usando a simulação de Monte Carlo. Como relatado por Eckhardt (1987), o método de Monte Carlo teve suas primeiras execuções feitas por Stanislaw Ulam em 1946.

Associado a cada produto da lista adiciona-se um número, que em conjunto com o número do tipo de produto formará um código identificador referente a uma SKU. As SKU's possuem o número adicional do código identificador iniciando em zero até a quantidade de SKU's do tipo de produto menos um ($Q_{SKU_i} - 1$). Dessa forma, mantém-se a quantidade estipulada de SKU's para cada tipo de produto. O número adicional será gerado aleatoriamente.

Os produtos contidos nas listas possuirão uma quantidade a ser coletada gerada aleatoriamente entre um valor mínimo e máximo associado ao código identificador. Para encontrar os valores mínimos e máximos dessas quantidades, foram propostas as Equações 7 e 8.

$$Q_{mín_i} = \frac{D_i}{30 \times R_i} \quad (7)$$

$$Q_{máx_i} = \frac{D_i}{10 \times R_i} \quad (8)$$

Onde:

- $Q_{mín_i}$: Quantidade mínima que pode ser coletada do produto i por lista;
- $Q_{máx_i}$: Quantidade máxima que pode ser coletada do produto i por lista;
- R_i : número de vezes que o tipo de produto i apareceu repetido na lista de coleta.

Sem o uso do denominador R_i nas Equações 7 e 8, a demanda mensal seria considerada integralmente em cada repetição do tipo de produto, como se essa fosse um tipo de produto diferente. Afinal, a demanda mensal é associada ao tipo de produto e inclui ao seu valor os pedidos de diversos clientes. Os denominadores constantes 30 e 10 presentes nas equações, são utilizados para limitar as quantidades de produtos que serão coletados por dia. Sem essas constantes, a quantidade coletada por dia seria a demanda total do mês. Dessa forma, a quantidade mínima caracteriza 3,33% da demanda total, ou seja, assume-se que em todos os dias do mês poderia ser coletada uma quantidade igual daquele tipo de produto. E a quantidade máxima representa 10% da demanda total, sendo assim, assume-se que a demanda mensal poderia ser inteiramente coletada durante os dez dias da simulação.

Posterior à determinação das quantidades a serem coletadas, as SKU's repetidas em cada lista serão consideradas como oriundas de um único pedido e suas quantidades de coleta serão somadas. Por esse motivo nem sempre todas as dez

listas irão possuir vinte SKU's. Essa união das repetições ocorre devido à estratégia de organização da coleta ser a coleta em lotes.

Depois de concluída a criação das listas de coleta, essas deverão ser ordenadas conforme a proximidade dos tipos de produtos com a porta do armazém. Para essa ordenação deve-se considerar as classes oriundas da classificação realizada em cada procedimento. Primeiro, deverão ser retirados os tipos de produtos da classe A, depois das classes B e C. Na ordenação também deve-se considerar a localização dos tipos de produtos dentro de cada classe e as SKU's. Sendo assim, realiza-se uma sub ordenação crescente do número associado do código identificador, entre os produtos do mesmo tipo presentes na lista.

Durante a simulação da atividade de coleta de pedidos, os menores caminhos possíveis entre os locais no armazém serão identificados por meio do algoritmo BFS. O BFS também será encarregado por calcular as distâncias totais percorridas nos respectivos caminhos. O modelo de armazém será traduzido e interpretado como um grafo pelo algoritmo BFS, cada espaço nos corredores (células) será um nó (vértice) do grafo. Ghosh e Bhattacharjee (1984) afirmam que a principal vantagem do algoritmo BFS é que sempre encontrará a melhor solução. Portanto, garante-se que as rotas escolhidas são as de menores distâncias.

O ponto que o coletor se encontra será tratado na viagem de coleta ou descarregamento (início da busca do algoritmo) como o nó de origem. E o ponto que deseja chegar, seja para coletar ou descarregar, como nó meta/objetivo. O nó verifica todos os seus vizinhos para identificar se algum não está visitado. Os nós vizinhos são os espaços próximos e em contato com o nó presente. Além disso, os nós correspondem aos espaços nos corredores, dessa forma, exclui-se as seções de armazenamento. Os nós vizinhos não visitados são marcados como visitados e associa-se a eles o nó presente como nó pai. Desse modo, o BFS cria um novo nó na árvore.

Todos os nós vizinhos, agora visitados, verificam seus vizinhos e realizam o mesmo processo, e assim consecutivamente até atingir-se o nó meta. O algoritmo BFS armazena todos os nós gerados. Dessa forma, os estados encontrados ao longo do caminho são identificados quando forem encontrados novamente na formação de um novo caminho em outra viagem. Com isso, evita-se a formação de nós duplicados que representam o mesmo estado. Outro motivo para o BFS armazenar todos os nós criados, é para que seja possível reconstruir o caminho da solução para identificação

do mesmo e cálculo da distância. Cada nó gerado armazena um ponteiro para seu nó pai no decorrer de todo o caminho. O respectivo caminho é reconstruído perseguindo os ponteiros para trás do nó meta até o nó de origem (ZHOU; HANSEN, 2005).

No término da simulação da coleta das dez listas obtém-se os valores correspondentes à distância percorrida em cada lista e à distância total para cada um dos oito cenários. A determinação de qual procedimento proporcionou uma coleta de pedidos mais eficiente será a partir da comparação dos valores das distâncias. O procedimento de classificação e alocação que apresentar os cenários que proporcionaram as duas menores distâncias é o melhor procedimento para separar os produtos propostos em classes. E também é o procedimento que fornece o melhor parâmetro para designar os locais de armazenagem nas condições propostas do modelo de armazém e equipamento utilizado.

4 DESENVOLVIMENTO

Para o melhor entendimento dos métodos empregados e para facilitar uma possível replicação do estudo, este capítulo detalha a aplicação dos procedimentos. Bem como, também apresenta análises dos resultados e decisões de cada etapa. Algumas partes da primeira fase preparatória já foram apresentadas no Capítulo da metodologia.

4.1 CRIAÇÃO E ANÁLISE DA POPULAÇÃO

Esta fase do estudo diz respeito à definição dos tipos de produtos, que serão armazenados no departamento, bem como, algumas das características particulares. Cada tipo de produto possui um valor de demanda mensal e massa associado. O presente estudo usará a política de armazenamento baseada em classe. Por tratar-se de um SLAP/PI, a demanda mensal e a massa serão utilizadas para a classificação e alocação dos tipos.

Como descrito na metodologia, foi criada aleatoriamente uma lista de quinhentos tipos de produtos. As demandas foram geradas de modo aleatório e variam de 450 a 2000 unidades por mês. De maneira similar, os valores de massa também foram gerados aleatoriamente variando de 5 a 50 u.m. Para formação da nova lista, vinte tipos de produtos foram selecionados aleatoriamente da lista de tamanho quinhentos. A Tabela 1 apresenta a lista de vinte tipos de produtos, os quais serão utilizados nos procedimentos de classificação.

**Tabela 1 - Lista dos vinte tipos de produtos
(continua)**

Produto da 1^o lista	Produto <i>i</i>	Demanda (un/mês)	Massa (u.m.)
209	1	678	17
387	2	819	11
188	3	761	20
312	4	620	43
313	5	747	5

Tabela 1 - Lista dos vinte tipos de produtos (conclusão)

Produto da 1º lista	Produto <i>i</i>	Demanda (un/mês)	Massa (u.m.)
361	6	1008	30
300	7	950	43
157	8	1858	29
91	9	1837	40
4	10	1091	6
397	11	926	18
72	12	1823	48
241	13	551	8
175	14	1110	46
221	15	985	28
391	16	1723	42
31	17	1776	23
151	18	1615	12
59	19	619	16
376	20	739	24

Fonte: Autoria Própria (2018)

Os tipos de produtos selecionados da primeira lista foram mantidos na mesma ordem em que surgiram e então renumerados de 1 a 20. Essa lista representa 4% da lista de quinhentos produtos. São nesses tipos de produtos que as Classificações ABC serão aplicadas para a priorização, separação e designação dos locais de armazenagem.

4.2 DEFINIÇÃO E ANÁLISE DA QUANTIDADE DE SEÇÕES DE ARMAZENAMENTO PARA CADA TIPO DE PRODUTO

No referencial teórico foi descrito sobre a incapacidade do armazém abrigar a quantidade exata dos tipos de produtos para fornecer a necessidade dos clientes por todo um período, como um mês ou um ano. Devido esse fato é fundamental garantir que os produtos estocados consigam atender à demanda do período analisado.

Portanto, essa fase diz respeito, justamente, à definição da quantidade de seções destinadas para a armazenagem de cada tipo de produto. Como os tipos de

produtos possuem demandas diferentes, a quantidade de seções afeta diretamente no número de reabastecimentos.

A Tabela 2 apresenta a porcentagem e a quantidade concreta das seções de armazenamento destinadas para cada tipo de produto por meio da OPT. A fórmula para calcular as porcentagens das seções para cada tipo de produto (V_i) encontra-se no Quadro 1. Para encontrar a quantidade de seções de armazenamento (Q_{s_i}) utiliza-se a Equação 3.

Tabela 2 - Porcentagem e quantidade efetiva de seções de armazenamento para cada tipo de produto

Produto <i>i</i>	OPT		
	V_i	Q_{s_i}	
1	3,99%	7,65	8
2	4,38%	8,41	8
3	4,22%	8,11	8
4	3,81%	7,32	7
5	4,18%	8,03	8
6	4,86%	9,33	9
7	4,72%	9,06	9
8	6,60%	12,67	13
9	6,56%	12,60	13
10	5,06%	9,71	10
11	4,66%	8,94	9
12	6,54%	12,55	13
13	3,59%	6,90	7
14	5,10%	9,79	10
15	4,80%	9,22	9
16	6,35%	12,20	12
17	6,45%	12,39	12
18	6,15%	11,81	12
19	3,81%	7,31	7
20	4,16%	7,99	8

Fonte: Autoria Própria (2018)

A quantidade de seções de armazenamento foi arredondada. A regra de arredondamento utilizada diz que se o algarismo após a vírgula for menor que cinco, arredonda-se para baixo, e se esse for maior ou igual a cinco, arredonda-se para cima.

Neste estudo assume-se que uma seção é destinada exclusivamente para um único tipo de produto. Por exemplo, uma seção não pode ter 60% do seu espaço ocupado por um tipo e 40% por outro.

A estratégia escolhida foi a OPT cuja destina porcentagens de seções que minimizam o total de reabastecimentos. Contudo, não pertence ao escopo do presente estudo examinar e analisar a quantidade de reabastecimentos, tanto que esse processo não será simulado. Todavia, reabastecimentos representam custos com movimentações, justamente o que esse trabalho busca reduzir.

A quantidade de SKU's de cada tipo de produto ($Q_{sku\ i}$) depende diretamente da quantidade de seções de armazenamento, conforme descreve a Equação 4. Depois da determinação da quantidade de seções, torna-se possível definir a quantidade de SKU's para cada tipo de produto, conforme mostra a Tabela 3.

Tabela 3 - Quantidade de SKU's

Produto <i>i</i>	OPT		Q_{SKU_i}
	Q_{s_i}		
1	7,65	8	80
2	8,41	8	80
3	8,11	8	80
4	7,32	7	70
5	8,03	8	80
6	9,33	9	90
7	9,06	9	90
8	12,67	13	130
9	12,60	13	130
10	9,71	10	100
11	8,94	9	90
12	12,55	13	130
13	6,90	7	70
14	9,79	10	100
15	9,22	9	90
16	12,20	12	120
17	12,39	12	120
18	11,81	12	120
19	7,31	7	70
20	7,99	8	80

Fonte: Autoria Própria (2018)

A partir da definição da estratégia, da quantidade de seções de armazenamento e de SKU's para cada tipo de produto, pode-se realizar a designação de locais de armazenagem. A próxima seção do presente trabalho descreve a execução das etapas para formação dos cenários.

4.3 FORMAÇÃO E ANÁLISE DOS CENÁRIOS

Este estágio do estudo aborda a priorização de acordo com os critérios e a classificação dos tipos de produtos por meio das Classificações ABC. Bem como, a alocação dos tipos e a disposição das classes para a formação dos cenários. A Classificação ABC foi escolhida como procedimento para agrupar os tipos de produtos em classes devido às particularidades do estudo.

4.3.1 Formação dos Cenários 1 e 2

Mesmo existindo uma norma para a alocação das classes, é concebível construir diversas disposições dos tipos de produtos no armazém utilizando-se a mesma norma. Por esse motivo, para cada procedimento de classificação e alocação criou-se dois cenários com diferentes disposições dos produtos. Desse modo, é possível averiguar e analisar qual o efeito da disposição sobre a distância total percorrida durante a atividade de coleta de pedidos.

Na simulação, a retirada dos produtos ocorrerá seguindo as listas de coleta ordenadas de acordo com a primeira classificação realizada em cada procedimento. O número associado do código identificador também influencia a coleta dos produtos, visto que se realiza uma sub ordenação crescente desse número para os produtos do mesmo tipo na lista.

A distância de um tipo de produto em relação ao que foi coletado anteriormente pode ser relevante. No entanto, ainda não se sabe sobre os tipos de produtos e, conseqüentemente, sobre as SKU's que compõem as listas de coleta. O desconhecimento sobre os tipos de produtos que formam as listas e a ordem de coleta é outro motivo para que existam duas disposições diferentes em cada procedimento.

O Tabela 4 apresenta a Classificação ABC usando a demanda mensal, para a construção dos cenários 1 e 2. Para melhorar o entendimento da execução do método, a tabela é formada por duas partes. Uma parte refere-se ao cálculo das frequências relativas, o primeiro passo para a realização da classificação. A segunda parte diz respeito ao cálculo das frequências acumuladas, realizado após a ordenação decrescente das frequências relativas.

Tabela 4 - Classificação a partir do critério demanda mensal

Produto i	Demanda (un/mês)	Frequência relativa (f_{r_i})	Produto i	Demanda (un/mês)	Frequência relativa (f_{r_i})	Frequência acumulada (f_{ac_i})	Classe
1	678	3,05%	8	1858	8,36%	8,36%	A
2	819	3,68%	9	1837	8,26%	16,62%	
3	761	3,42%	12	1823	8,20%	24,82%	
4	620	2,79%	17	1776	7,99%	32,80%	
5	747	3,36%	16	1723	7,75%	40,55%	
6	1008	4,53%	18	1615	7,26%	47,81%	
7	950	4,27%	14	1110	4,99%	52,81%	
8	1858	8,36%	10	1091	4,91%	57,71%	
9	1837	8,26%	6	1008	4,53%	62,25%	B
10	1091	4,91%	15	985	4,43%	66,68%	
11	926	4,16%	7	950	4,27%	70,95%	
12	1823	8,20%	11	926	4,16%	75,11%	
13	551	2,48%	2	819	3,68%	78,80%	
14	1110	4,99%	3	761	3,42%	82,22%	
15	985	4,43%	5	747	3,36%	85,58%	
16	1723	7,75%	20	739	3,32%	88,90%	
17	1776	7,99%	1	678	3,05%	91,95%	
18	1615	7,26%	4	620	2,79%	94,74%	
19	619	2,78%	19	619	2,78%	97,52%	
20	739	3,32%	13	551	2,48%	100,00%	

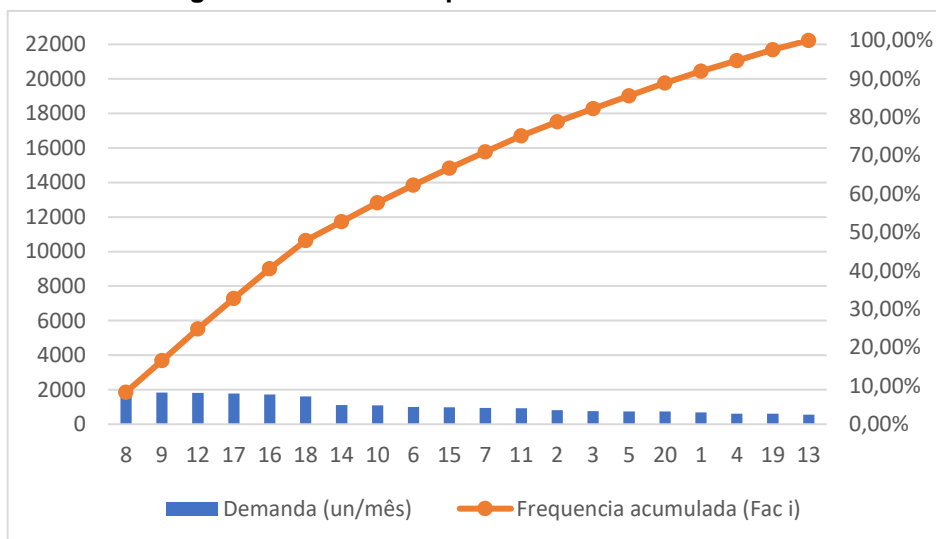
Fonte: Autoria Própria (2018)

Os intervalos de porcentagens propostos por Martins e Alt (2009) foram utilizados para determinar quais os tipos de produtos pertencem às classes A, B e C. Para padronizar os procedimentos de classificação em todos os cenários fixou-se uma porcentagem de definição para cada classe.

São designados à classe A os tipos de produtos cujo o somatório das demandas corresponde a cerca de 60% da soma total. Na classe B são enquadrados os tipos de produtos cuja soma das demandas representa aproximadamente 30% do somatório total das demandas. Por último, são enquadrados na classe C os demais produtos, que correspondem a quase 10% da demanda total.

Tentou-se respeitar ao máximo a proximidade com as porcentagens fixadas. Ao analisar o Quadro 6, observa-se que a classe A é composta pelos tipos de produtos cuja soma das demandas representa 57,71% do somatório total. As classes B e C correspondem a 31,19% e 11,10%, respectivamente. Para melhor observar as porcentagens, o Gráfico 1 fornece uma representação visual dessas.

Gráfico 1 - Diagrama de Pareto do procedimento usando o critério demanda



Fonte: Autoria Própria (2018)

Observa-se no Gráfico 1, apesar do uso das porcentagens fixas para a determinação de quais produtos pertencem a cada classe, que algumas das porcentagens referentes a quantidade desses nas classes não coincide com os intervalos propostos por Martins e Alt (2009).

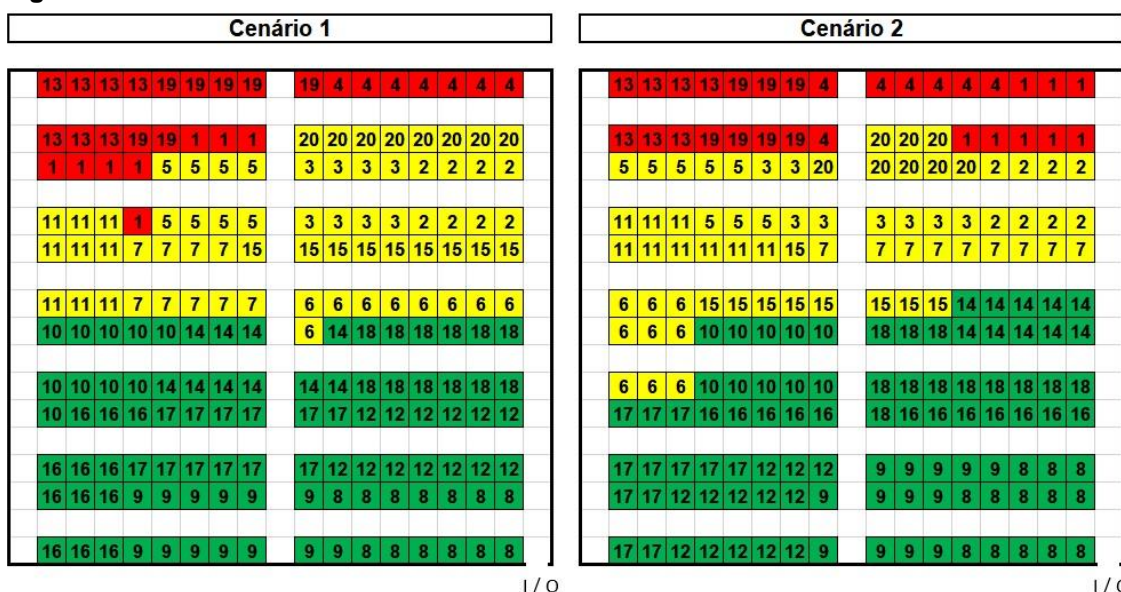
Martins e Alt (2009) relatam que a classe A é formada por poucos tipos de produtos, de 10% a 20% do total. Contudo, no procedimento de classificação e alocação realizado, a classe A é constituída por 40% dos tipos de produtos. A classe B é composta por 40% dos tipos de produtos, uma quantidade dentro do intervalo de porcentagem proposto, de 30% a 40%. A classe C teoricamente é formada por uma

grande quantidade de tipos de produtos, mais de 50%. Entretanto, percebe-se que na classificação realizada, a classe C é formada por apenas 20% dos produtos.

A diferença entre o procedimento de classificação e alocação realizado para formar esses cenários e as porcentagens relatadas por Martins e Alt (2009) fica visível ao comparar o Gráfico 1 com um Diagrama de Pareto convencional. No Diagrama de Pareto, espera-se que a curva associada ao eixo secundário cresça bruscamente para os primeiros tipos de produtos e depois diminua seu crescimento, de modo a quase ficar horizontal. No Gráfico 1 o crescimento é aproximadamente constante para todos os tipos de produtos.

Contudo, apesar de não respeitar a todos os intervalos de porcentagens relatados, o procedimento utilizado manteve o seu objetivo de fornecer uma regra de priorização para a alocação das classes e tipos de produtos. A classe A ainda é composta pelos tipos de produtos de maior demanda. É possível, como visto anteriormente, realizar mais de uma alocação dos tipos de produtos para cada procedimento de classificação e alocação. A Figura 10 apresenta os cenários 1 e 2, resultados de diferentes alocações que respeitam a mesma regra definida. A área ocupada por cada classe depende das seções em que foram atribuídos os tipos de produtos.

Figura 10 - Cenários 1 e 2



Fonte: Autoria Própria (2018)

Depois de alocados os tipos de produtos e, conseqüentemente, definidas as disposições das classes, deve-se determinar quais SKU's ficarão em cada seção. A Figura 11 é uma representação das SKU's presentes nas seções.

Figura 11 - SKU's nas seções dos cenários 1 e 2

Cenário 1										Cenário 2									
70	50	30	10	50	40	30	20			10	70	60	50	40	30	20	10		
60	40	20	70	60	80	70	60			80	70	60	50	40	30	20	10		
50	40	30	20	80	60	40	20			80	60	40	20	80	60	40	20		
70	80	90	10	70	50	30	10			70	50	30	10	70	50	30	10		
60	40	20	90	70	50	30	90			80	70	60	50	40	30	20	10		
50	30	10	80	60	40	20	10			80	70	60	50	40	30	20	10		
90	70	50	30	10	90	70	50			90	20	120	100	80	60	40	20		
80	60	40	20	100	80	60	40			30	10	110	90	70	50	30	10		
100	90	110	120	110	90	70	50			20	30	120	100	80	60	40	20		
70	80	100	120	100	80	60	40			10	130	110	90	70	50	30	10		
60	40	20	130	110	90	70	50			30	130	120	100	80	60	40	20		
50	30	10	120	100	80	60	40			20	10	110	90	70	50	30	10		

1/0

Fonte: Autoria Própria (2018)

Cada seção de armazenamento estoca dez SKU's. O número presente nas seções sinaliza quais são as SKU's encontradas naquela seção. Esse número mostra o limite máximo não incluso das SKU's pertencentes àquela seção. Bem como, também sinaliza qual é a primeira SKU pertencente à seção com a próxima dezena. Por exemplo, nas seções referentes ao tipo de produto 1, a que possui o número 10, armazena as SKU's 1.0 a 1.9. A seção que possui o número 20, estoca as SKU's 1.10 a 1.19. A lógica permanece nas outras seções referentes aquele tipo de produto até a última SKU.

Na atribuição das SKU's buscou-se uma alocação crescente das dezenas em relação ao ponto de entrada e saída. Em suma, nas seções com o mesmo tipo de produto, designou-se o número 10 na seção mais próxima a porta do departamento, em sequência o número 20 e assim sucessivamente. Essa norma de alocação das SKU's foi aplicada na alocação das SKU's de todos os cenários.

4.3.2 Formação dos Cenários 3 e 4

Para a construção dos cenários 3 e 4, classificam-se os tipos de produtos usando suas massas como critério. Utilizou-se esse critério para analisar qual é a influência de um procedimento que considera a massa dos produtos sobre a distância percorrida durante a coleta.

Assim como na construção dos cenários 1 e 2, o procedimento de classificação oferece uma norma para a alocação das classes e, conseqüentemente, dos tipos de produtos no departamento. A classe A (tipos de produtos com maior massa) são alocados próximo do ponto de entrada e saída. Posteriormente, aloca-se a classe B e por fim, o local mais distante da porta do departamento, é atribuído a classe C (tipos de produtos com menor massa). Dentro de cada classe, armazenou-se mais próximo a porta do departamento os tipos de produtos com maior porcentagem relativa da massa.

A classificação a partir da massa dos produtos, utilizada para a formação dos cenários 3 e 4, é apresentada na Tabela 5. A tabela é dividida em duas etapas para facilitar a compreensão do procedimento. A primeira parte diz respeito ao cálculo das porcentagens relativas da massa. Posterior à ordenação decrescente dessas porcentagens relativas, calcula-se as porcentagens acumuladas e separam-se as classes.

Tabela 5 - Classificação a partir do critério massa dos tipos de produtos

(continua)

Produto <i>i</i>	Massa (u.m.)	Porcentagem relativa da massa (M_{ri})		Produto <i>i</i>	Massa (u.m.)	Porcentagem relativa da massa (M_{ri})	Porcentagem acumulada (M_{aci})	Classe
1	17	3,34%	Ordenação	12	48	9,43%	9,43%	A
2	11	2,16%		14	46	9,04%	18,47%	
3	20	3,93%		4	43	8,45%	26,92%	
4	43	8,45%		7	43	8,45%	35,36%	
5	5	0,98%		16	42	8,25%	43,61%	
6	30	5,89%		9	40	7,86%	51,47%	
7	43	8,45%		6	30	5,89%	57,37%	
8	29	5,70%		8	29	5,70%	63,06%	B
9	40	7,86%		15	28	5,50%	68,57%	

Tabela 5 – Classificação a partir do critério massa dos tipos de produtos

(conclusão)

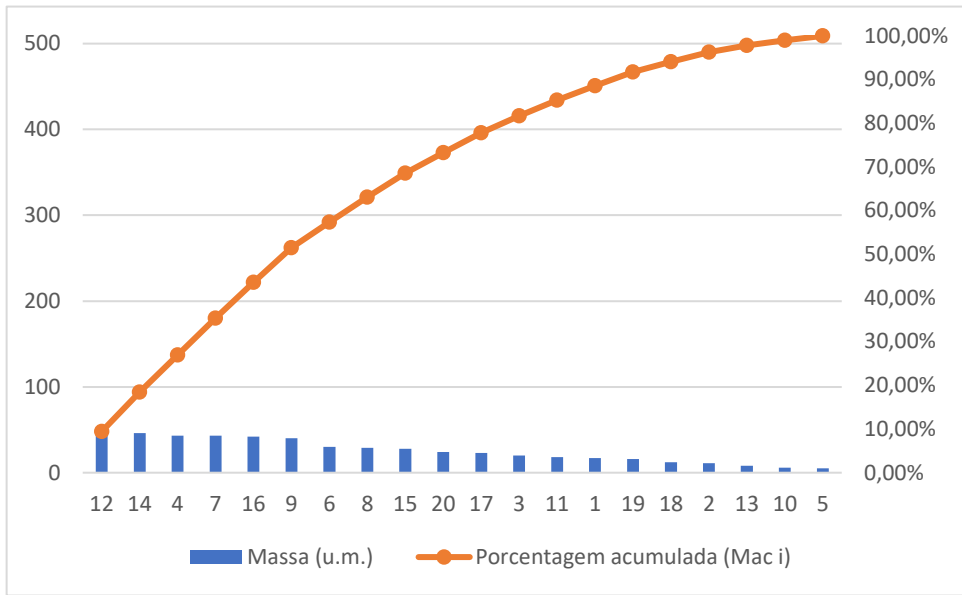
Produto <i>i</i>	Massa (u.m.)	Porcentagem relativa da massa (M_{r_i})		Produto <i>i</i>	Massa (u.m.)	Porcentagem relativa da massa (M_{r_i})	Porcentagem acumulada (M_{ac_i})	Classe
10	6	1,18%	Ordenação	20	24	4,72%	73,28%	B
11	18	3,54%		17	23	4,52%	77,80%	
12	48	9,43%		3	20	3,93%	81,73%	
13	8	1,57%		11	18	3,54%	85,27%	
14	46	9,04%		1	17	3,34%	88,61%	
15	28	5,50%		19	16	3,14%	91,75%	C
16	42	8,25%		18	12	2,36%	94,11%	
17	23	4,52%		2	11	2,16%	96,27%	
18	12	2,36%		13	8	1,57%	97,84%	
19	16	3,14%		10	6	1,18%	99,02%	
20	24	4,72%	5	5	0,98%	100,00%		

Fonte: Autoria Própria (2018)

Competem a classe A os tipos de produtos, que a soma das massas representa aproximadamente 60% do somatório total. São enquadrados na classe B os tipos de produtos cujo somatório das massas corresponde a cerca de 30% da soma total das massas. Por fim, é designado a classe C o restante dos tipos, que corresponde a cerca de 10% do somatório total.

Buscou-se obedecer a essas porcentagens fixadas. Contudo, a Tabela 5 mostra que pertencem a classe A os tipos de produtos cujo somatório das massas representa 57,37% da soma total. A classe B é composta pelos tipos de produtos, que a soma das massas corresponde a 34,38% do somatório inteiro. E a classe C corresponde a 8,25% da soma total. O Gráfico 2 auxilia na compreensão dessas porcentagens.

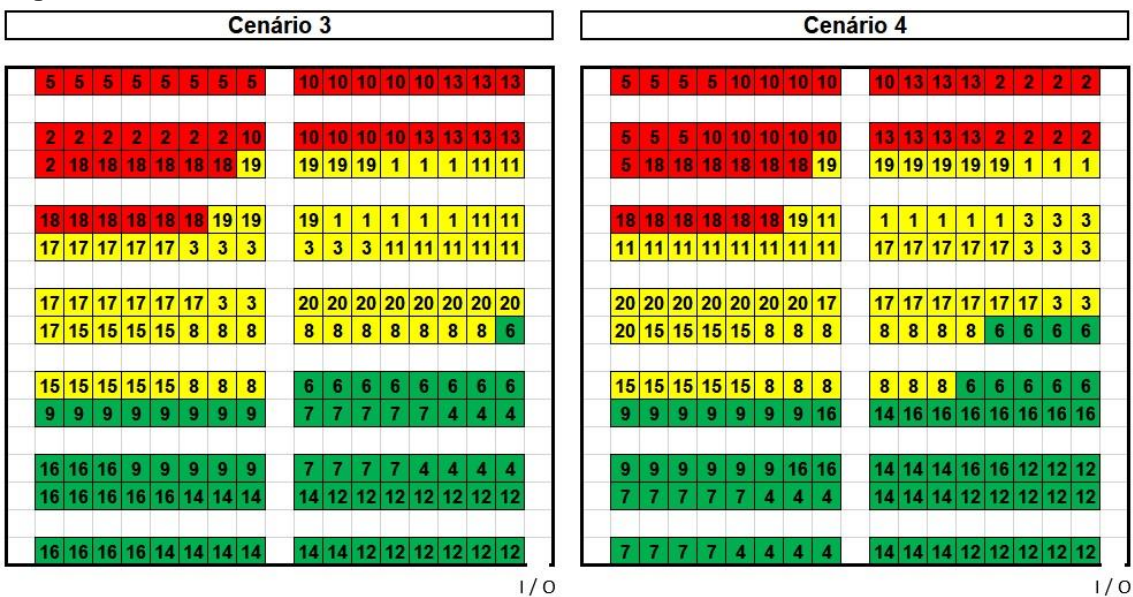
Gráfico 2 - Diagrama de Pareto do procedimento usando o critério massa



Fonte: Autoria Própria (2018)

Na construção dos cenários 3 e 4, a classe A excede esse intervalo proposto por Martins e Alt (2009), possuindo 35% dos tipos de produtos. A classe B possui 40% dos tipos de produtos, o que está dentro do intervalo de porcentagem proposto, de 30% a 40%. A classe C é composta por 25% dos tipos, abaixo dos 50% mínimos. A Figura 12 mostra a disposição dos respectivos cenários. O espaço ocupado pelas classes depende das seções que foram alocados os tipos de produtos.

Figura 12 - Cenários 3 e 4



Fonte: Autoria Própria (2018)

Depois de designados os tipos de produtos e, conseqüentemente, definidas as disposições das classes, deve-se estabelecer quais SKU's estarão em cada seção de armazenamento. A Figura 13 consiste em uma representação gráfica da localização das SKU's.

Figura 13 - SKU's nas seções dos cenários 3 e 4

Cenário 3										Cenário 4																					
80	70	60	50	40	30	20	10	90	70	50	30	10	20	40	60	70	50	30	10	90	70	50	30	10	60	40	20	20	40	60	80
20	30	40	50	60	70	80	100	80	60	40	20	10	30	50	70	60	40	20	100	80	60	40	20	70	50	30	10	10	30	50	70
10	110	90	70	50	30	10	60	40	20	10	60	40	20	90	70	80	110	90	70	50	30	10	60	50	40	30	20	10	70	80	90
120	100	80	60	40	20	70	50	30	80	70	50	30	10	80	60	120	100	80	60	40	20	70	90	10	20	30	40	50	80	70	60
100	80	60	40	20	10	30	50	60	70	80	10	20	30	40	50	80	70	60	50	40	30	20	10	20	40	60	80	100	10	30	50
110	90	70	50	30	10	20	40	10	20	30	40	50	60	70	80	20	30	40	50	60	70	80	10	30	50	70	90	110	120	20	40
120	80	60	40	20	130	110	90	70	60	50	40	30	20	10	90	10	80	60	40	20	130	110	90	70	50	30	10	20	40	60	80
90	70	50	30	10	120	100	80	10	20	30	40	50	60	70	80	90	70	50	30	10	120	100	80	60	40	20	10	30	50	70	90
130	120	110	100	80	60	40	20	90	70	50	30	10	60	40	20	130	110	90	70	50	30	10	110	80	90	80	70	50	30	20	10
100	110	120	90	70	50	30	10	80	60	40	20	70	50	30	10	120	100	80	60	40	20	120	100	70	90	100	60	40	130	120	110
90	70	50	30	10	80	60	40	20	130	120	100	80	60	40	20	90	70	50	30	10	60	40	20	60	40	20	100	80	60	40	20
80	60	40	20	100	90	70	50	30	10	110	90	70	50	30	10	80	60	40	20	70	50	30	10	50	30	10	90	70	50	30	10

1/0
1/0

Fonte: Autoria Própria (2018)

A Seção 4.3.1 do presente estudo possui um exemplo para auxiliar na compreensão da sinalização gráfica das SKU's pertencentes à cada seção de armazenamento. A regra de alocação das SKU's é a mesma para todos os cenários.

4.3.3 Formação dos Cenários 5 e 6

A demanda mensal de cada tipo de produto é relacionada a todos os pedidos. Portanto, as maiores demandas podem ser oriundas de muitos pedidos com quantidades relativamente pequenas ou de poucos pedidos com grandes quantidades de produtos. Caso a coleta de pedidos ocorresse retirando produtos pertencentes a um pedido por vez. O número de viagens para a coleta de produtos, desconsiderando a capacidade do equipamento de coleta, seria maior para a opção de muitos pedidos com quantidades pequenas de produtos. Como a estratégia de organização da atividade de coleta será a coleta em lotes, não é relevante saber se as demandas são oriundas de muitos ou poucos pedidos.

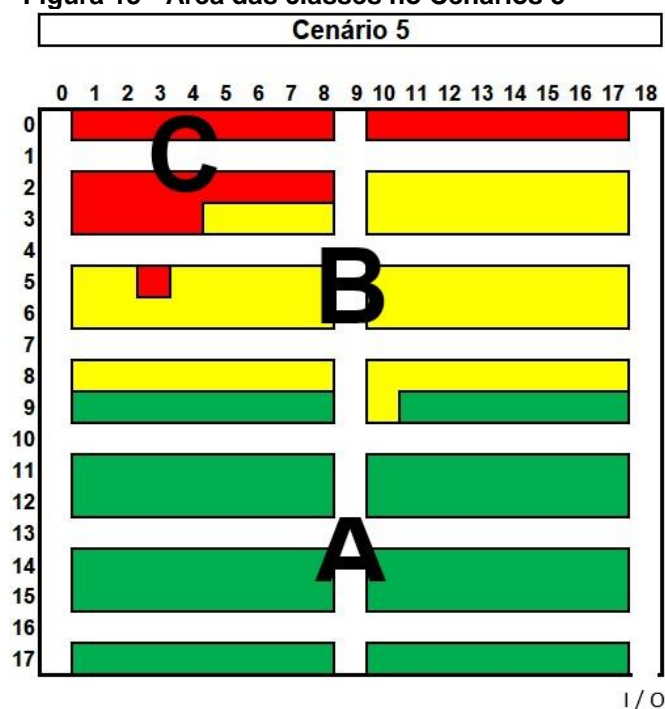
Observa-se que com a coleta em lotes de pedidos, a influência da capacidade máxima do equipamento de coleta é maior. Para os tipos de produtos da classe A, com maiores demandas, espera-se que a quantidade que deve ser coletada em cada pedido também seja maior. Ao coletar-se um grupo de pedidos de um produto da classe A, como a quantidade será maior e o equipamento de coleta possui uma capacidade limite, serão necessárias mais viagens para a coleta total.

Sendo assim, nota-se que pode ser interessante utilizar procedimentos de classificação e alocação que combinem as características proporcionadas pela demanda mensal e pela massa dos produtos. Foram propostos para o presente estudo procedimentos que primeiro separam os tipos de produtos em classes usando um critério e posteriormente subclassificam os tipos de cada classe usando outro critério. Os cenários 5 e 6 serão gerados a partir da aplicação de subclassificações das classes dos cenários 1 e 2, respectivamente.

Portanto, para a construção dos cenários 5 e 6, igual os cenários 1 e 2, deve-se classificar os tipos de produtos usando o parâmetro demanda mensal, conforme mostrado na Tabela 4. Procurou-se manter os mesmos formatos dos cenários 1 e 2 para as áreas ocupadas por cada classe. Como é possível gerar diferentes disposições dos tipos de produtos para a mesma norma, quando se aplicou apenas a classificação usando a demanda mensal, sem as subclassificações, criou-se dois cenários. Portanto, também serão criados dois cenários para esse procedimento de alocação e classificação. Mesmo sendo possível alocar-se de diferentes maneiras as subclasses, será criada apenas uma disposição para cada cenário base. Todavia, as subclasses são oriundas das mesmas subclassificações em ambos os cenários.

O cenário 6 manteve o mesmo formato das áreas das classes do cenário 2. Em contrapartida, houve uma pequena alteração no formato das classes do cenário 1 para a formação do cenário 5, conforme mostra a Figura 13.

Figura 13 - Área das classes no Cenários 5



Fonte: Autoria Própria (2018)

Os números ao lado representam como é feita a leitura das coordenadas no código de programação. As coordenadas começam do zero com a origem no primeiro ponto superior a esquerda. Sendo assim, a mudança no formato das classes do cenário 5 ocorreu na classe C, na seção localizada nas coordenadas (X:3; Y:5).

Para a alocação das subclasses dentro de cada classes utiliza-se a mesma norma de alocação aplicada para as classes. E para a alocação dos tipos de produtos dentro de cada subclasse mantêm-se a norma de alocação utilizada nos cenários 1 a 4 para a alocação dentro das classes. Contudo, as frequências relativas ou porcentagens relativas utilizadas são as oriundas das subclassificações.

As próximas tabelas apresentam as subclassificações usando a massa, realizadas em cada classe oriunda da classificação baseada na demanda dos cenários 1 e 2. Essas tabelas, assim como as tabelas referentes as classificações, são divididas em duas partes para melhorar o entendimento dos procedimentos.

Tabela 6 - Subclassificação a partir do critério massa dos tipos de produtos para a classe A

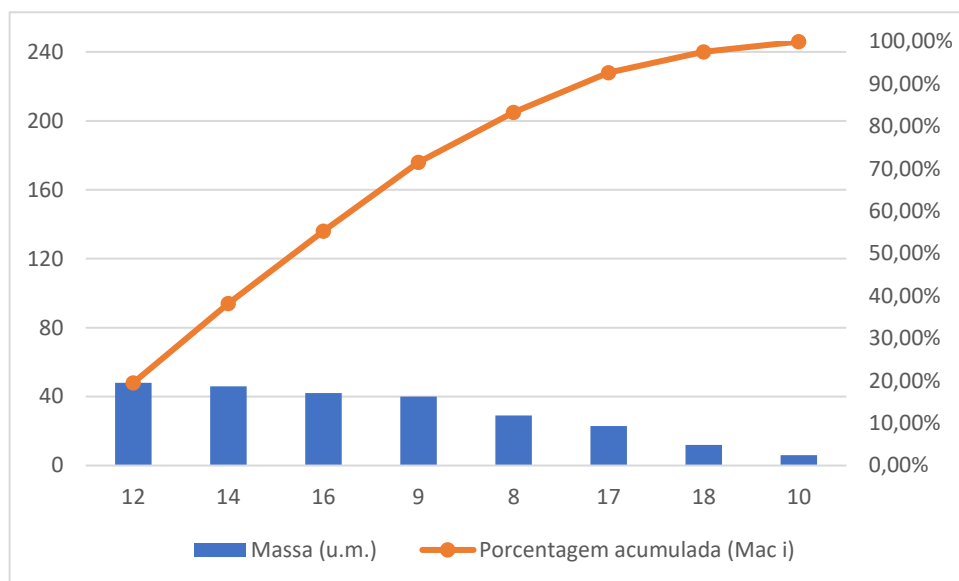
Classe A							
Produto i	Massa (u.m.)	Porcentagem relativa da massa (M_{r_i})	Produto i	Massa (u.m.)	Porcentagem relativa da massa (M_{r_i})	Porcentagem acumulada (M_{ac_i})	Subclasse
8	29	11,79%	12	48	19,51%	19,51%	A
9	40	16,26%	14	46	18,70%	38,21%	
12	48	19,51%	16	42	17,07%	55,28%	
17	23	9,35%	9	40	16,26%	71,54%	B
16	42	17,07%	8	29	11,79%	83,33%	
18	12	4,88%	17	23	9,35%	92,68%	C
14	46	18,70%	18	12	4,88%	97,56%	
10	6	2,44%	10	6	2,44%	100,00%	

Fonte: Autoria Própria (2018)

Para as determinar quais tipos de produtos da respectiva classe pertencem as subclasses A, B e C, foram utilizadas as mesmas porcentagens fixadas anteriormente para as classificações dos cenários 1 a 4.

Procurou-se respeitar as porcentagens fixadas. Todavia, é possível observar na Tabela 6 que a subclasse A é composta pelos tipos de produtos da classe A cuja soma das massas corresponde a 55,28% do somatório total da classe. Pertencem a subclasse B os tipos de produtos cujo somatório das massas representa 37,40% da soma total. E a subclasse C corresponde a 7,32% do somatório total da classe A. O Gráfico 3 auxilia na compreensão dessas porcentagens.

Gráfico 3 - Diagrama de Pareto da subclassificação a partir do critério massa para a classe A



Fonte: Autoria Própria (2018)

A subclasse A deveria possuir de 10% a 20% do total de tipos de produtos da classe. Nos cenários 5 e 6, a subclasse A para a classe A supera o intervalo proposto, possuindo 37,50% dos tipos de produtos. O intervalo de porcentagem para a subclasse B varia de 30% a 40%. A subclasse B para essa classe também possui 37,50% dos tipos, estando dentro do intervalo. A subclasse C é formada por 25% dos tipos, abaixo da porcentagem mínima de 50%.

Posterior a subclassificação dos tipos de produtos pertencentes à classe A, realiza-se a subclassificação para a classe B. A Tabela 7 apresenta essa subclassificação, seguindo a mesma lógica de apresentação.

Tabela 7 - Subclassificação a partir do critério massa dos tipos de produtos para a classe B (continua)

Classe B							
Produto i	Massa (u.m.)	Porcentagem relativa da massa (M_{ri})	Produto i	Massa (u.m.)	Porcentagem relativa da massa (M_{ri})	Porcentagem acumulada (M_{aci})	Subclasse
6	30	16,76%	7	43	24,02%	24,02%	A
15	28	15,64%	6	30	16,76%	40,78%	
7	43	24,02%	15	28	15,64%	56,42%	
11	18	10,06%	20	24	13,41%	69,83%	B
2	11	6,15%	3	20	11,17%	81,01%	

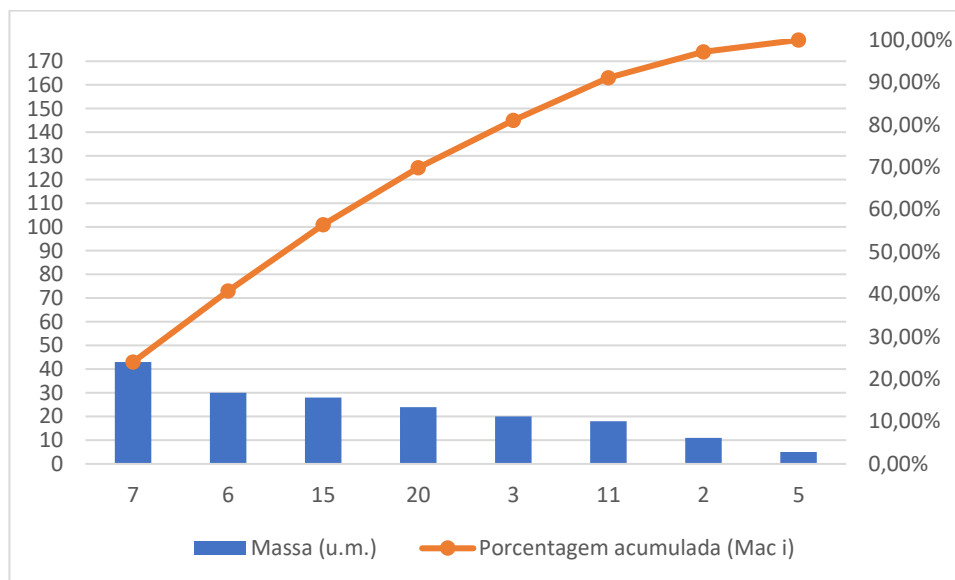
Tabela 7 - Subclassificação a partir do critério massa dos tipos de produtos para a classe B (conclusão)

Classe B							
Produto i	Massa (u.m.)	Porcentagem relativa da massa (M_{r_i})	Produto i	Massa (u.m.)	Porcentagem relativa da massa (M_{r_i})	Porcentagem acumulada (M_{ac_i})	Subclasse
3	20	11,17%	11	18	10,06%	91,06%	B
5	5	2,79%	2	11	6,15%	97,21%	C
20	24	13,41%	5	5	2,79%	100,00%	

Fonte: Autoria Própria (2018)

Da mesma forma que para a classe A, buscou-se obedecer às porcentagens fixadas. Contudo, ao analisar o Quadro 9, nota-se que pertencem a subclasse A os tipos de produtos da classe B cujo somatório das massas corresponde a 56,42% da soma total da classe. As subclasses B e C correspondem a 34,64% e 8,94%, respectivamente. O Gráfico 4 oferece uma representação visual dessas porcentagens.

Gráfico 4 - Diagrama de Pareto da subclassificação a partir do critério massa para a classe B



Fonte: Autoria Própria (2018)

A subclasse A para os tipos de produtos pertencentes à classe B, possui 37,50% dos tipos, sendo maior que o intervalo proposto de 10% a 20%. A subclasse B também é formada por 37,50% dos tipos, estando dentro do intervalo. E a subclasse C está abaixo dos 50% estipulados, possuindo 25% dos tipos de produtos da classe B. Para concluir as subclassificações para criação dos cenários 5 e 6, realiza-se a

subclassificação para os tipos de produtos da classe C. A Tabela 8 mostra a subclassificação para os produtos da classe C.

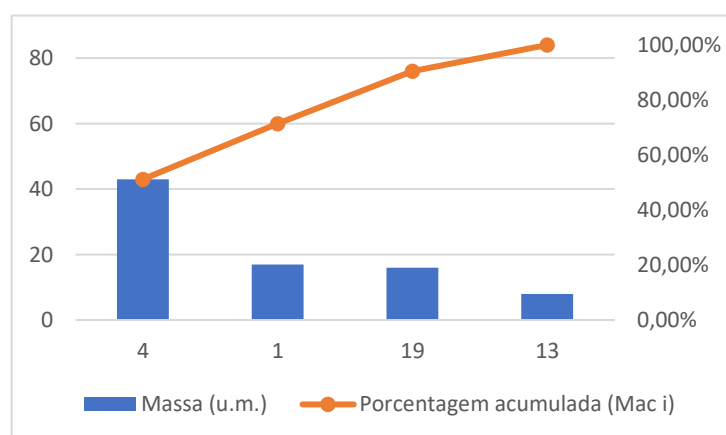
Tabela 8 - Subclassificação a partir do critério massa dos tipos de produtos para a classe C

Classe C								
Produto i	Massa (u.m.)	Porcentagem relativa da massa (Mr i)	Ordenação	Produto i	Massa (u.m.)	Porcentagem relativa da massa (Mr i)	Porcentagem acumulada (Mac i)	Subclasse
1	17	20,24%		4	43	51,19%	51,19%	A
4	43	51,19%		1	17	20,24%	71,43%	B
19	16	19,05%		19	16	19,05%	90,48%	C
13	8	9,52%	13	8	9,52%	100,00%		

Fonte: Autoria Própria (2018)

Observa-se na Tabela 8 que a subclasse A é formada por apenas um tipo de produto cuja sua massa representa 51,19% do somatório total das massas para essa classe. A subclasse B é composta por dois produtos, que a soma de suas massas corresponde a 39,29% da soma inteira. E por fim, a subclasse C é composta por um tipo de produto cuja massa representa 9,52% da soma total das massas dos produtos da classe C. O Gráfico 5 auxilia na compreensão dessas porcentagens.

Gráfico 5 - Diagrama de Pareto da subclassificação a partir do critério massa para a classe B



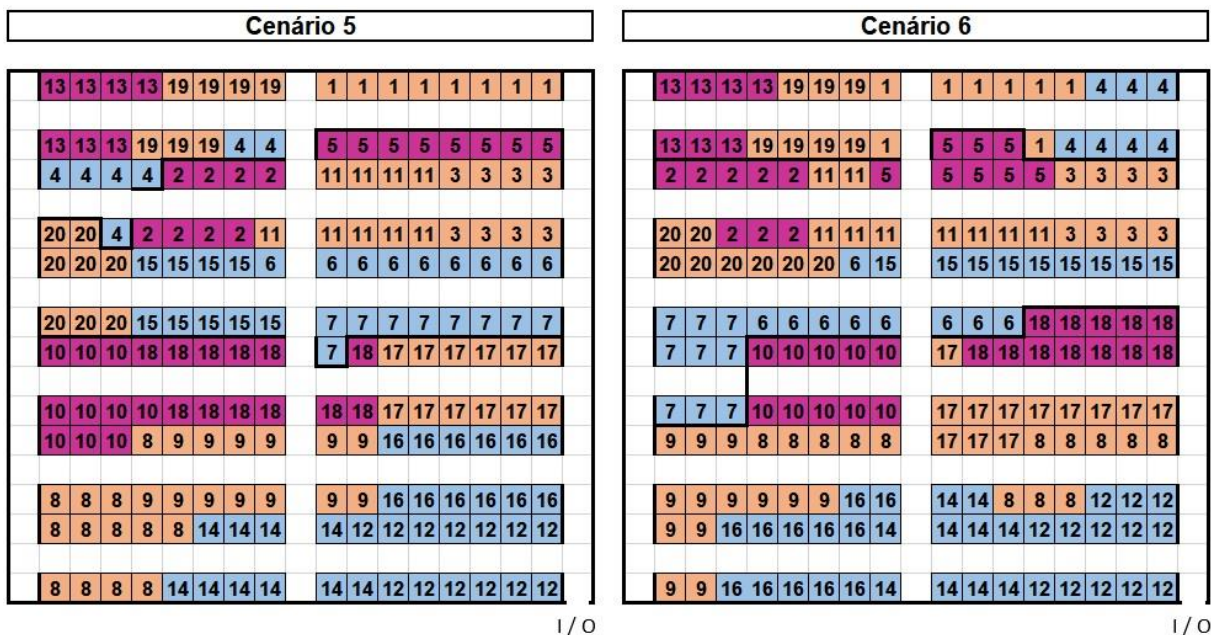
Fonte: Autoria Própria (2018)

A subclasse A possui de 10% a 20% do total de tipos de produtos da classe. Para a classe C, a subclasse A excede o intervalo proposto, possuindo 25% dos tipos de produtos. Entretanto, é uma porcentagem relativamente baixa quando comparada

com as porcentagens das (sub) classes A das outras classificações. A subclasse B também excede o intervalo, pois é composta por 50% dos tipos e o intervalo para a subclasse B varia de 30% a 40%. A subclasse C possui 25% dos tipos de produtos, estando abaixo dos 50% mínimos.

A maioria das subclasses não estão de acordo com os intervalos de porcentagens propostos. Apenas as subclasses B para as classes A e B respeitam os intervalos. Entretanto, as subclassificações utilizadas cumprem seus objetivos de oferecerem uma norma de priorização para a alocação das subclasses dentro da área de cada classe. A Figura 14 apresenta os cenários 5 e 6, resultados das aplicações de subclassificações usando o critério massa nas classes oriundas dos cenários 1 e 2. A área ocupada por cada subclasse dentro das classes depende das seções que foram atribuídos os tipos de produtos.

Figura 14 - Cenários 5 e 6



Fonte: Autoria Própria (2018)

As linhas mais espessas marcam o contorno das áreas de cada classe. Depois de alocados os tipos de produtos e as subclasses dentro das classes, deve-se definir quais SKU's estarão em cada seção. A Figura 15 fornece a representação das SKU's atribuídas em cada seção de armazenamento.

Figura 15 - SKU's nas seções dos cenários 5 e 6

Cenário 5														Cenário 6																	
70	50	30	10	60	40	20	10	10	20	30	80	70	60	50	40	70	50	30	10	60	40	20	80	60	50	40	30	10	70	60	50
60	40	20	70	50	30	60	70	10	20	30	40	80	70	60	50	60	70	80	20	10	20	30	40	60	70	80	20	10	20	30	40
50	40	30	10	20	40	60	80	80	60	40	20	20	40	60	80	10	20	40	60	80	80	60	10	20	30	40	50	20	40	60	80
70	80	20	10	30	50	70	90	70	50	30	10	10	30	50	70	70	80	30	50	70	90	70	50	40	30	20	10	40	30	20	10
60	40	20	80	60	40	20	90	80	70	60	50	40	30	20	10	60	50	40	30	20	10	40	10	20	30	40	50	60	70	80	90
50	30	10	90	70	50	30	10	20	30	40	50	60	70	80	90	70	80	90	10	20	30	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
60	40	20	120	100	80	60	40	10	20	20	40	60	80	100	120	60	40	20	90	70	50	30	10	80	10	20	30	40	50	60	70
70	50	30	10	110	90	70	50	30	10	10	30	50	70	90	110	50	30	10	100	80	60	40	20	90	70	60	50	40	30	20	10
80	90	100	10	120	100	80	60	40	20	20	40	60	80	100	120	120	100	80	10	20	30	40	50	100	110	120	70	90	110	120	130
40	30	20	130	110	90	70	50	30	10	10	30	50	70	90	110	130	110	90	70	60	50	120	110	90	100	60	80	100	130	120	110
50	70	90	110	130	80	60	40	20	130	120	100	80	60	40	20	40	20	100	80	60	40	20	80	60	40	20	100	80	60	40	20
60	80	100	120	100	90	70	50	30	10	110	90	70	50	30	10	30	10	90	70	50	30	10	70	50	30	10	90	70	50	30	10

Fonte: Autoria Própria (2018)

Aplica-se a mesma norma de alocação das SKU's utilizadas para os cenários 1 a 4.

4.3.4 Formação dos Cenários 7 e 8

Os cenários 7 e 8 serão criados por meio de subclassificações dos tipos de produtos de cada classe gerada na classificação com o critério massa nos cenários 3 e 4. As subclassificações aplicadas em cada classe para a formação dos cenários 7 e 8 utilizaram a demanda mensal como critério.

É relevante considerar que dentre os tipos de produtos de maior massa existem os tipos que possuem maior demanda. Os tipos de produtos com maior demanda são coletados em mais viagens, visto que a maior quantidade auxilia na rápida ocupação da capacidade. Esse fato torna-se ainda mais crítico na classe A, na qual são enquadrados os tipos de produtos de maior massa.

Sendo assim, para a formação dos cenários 7 e 8, igual aos cenários 3 e 4, classifica-se os tipos de produtos utilizando o critério massa, como mostra a Tabela 5. Ao contrário do cenário 5, que possuía diferença com seu cenário base (cenário 1), para os cenários 7 e 8 manteve-se os mesmos formatos dos cenários 3 e 4, sem nenhuma alteração.

Serão gerados dois cenários (7 e 8), entretanto, será gerada apenas uma disposição de subclasses para cada cenário base. As subclasses dos cenários 7 e 8 são oriundas das mesmas subclassificações. A Tabela 9 mostra a subclassificação para a classe A.

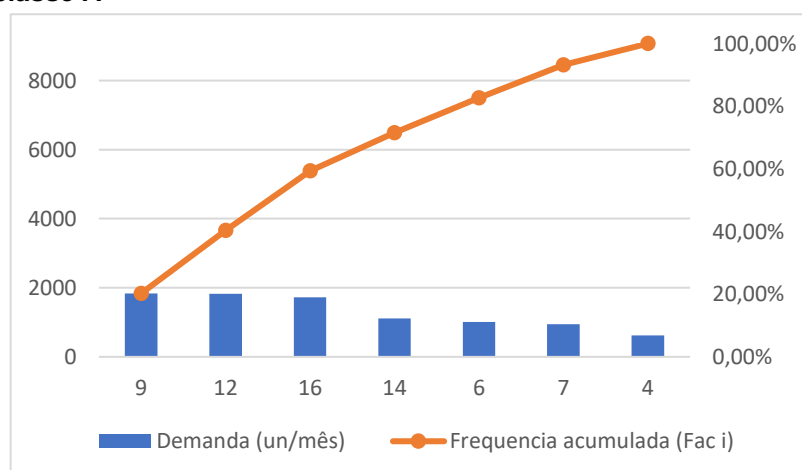
Tabela 9 - Subclassificação a partir do critério demanda mensal para a classe A

Classe A								
Produto i	Demanda (un/mês)	Frequência relativa (f_{ri})		Produto i	Demanda (un/mês)	Frequência relativa (f_{ri})	Frequência acumulada (f_{aci})	Subclasse
12	1823	20,10%	ordenação	9	1837	20,25%	20,25%	A
14	1110	12,24%		12	1823	20,10%	40,35%	
4	620	6,83%		16	1723	18,99%	59,34%	
7	950	10,47%		14	1110	12,24%	71,58%	B
16	1723	18,99%		6	1008	11,11%	82,69%	
9	1837	20,25%		7	950	10,47%	93,17%	
6	1008	11,11%		4	620	6,83%	100,00%	C

Fonte: Autoria Própria (2018)

A subclasse A é formada pelos tipos de produtos da classe A, que o somatório das demandas representa 59,34% da demanda total da classe. Foram enquadrados na subclasse B os tipos de produtos cuja soma das demandas corresponde a 33,83% da demanda total. E a subclasse C corresponde a 6,83% da soma total da classe. O Gráfico 6 fornece uma representação visual dessas porcentagens.

Gráfico 6 - Diagrama de Pareto da subclassificação a partir do critério demanda mensal para a classe A



Fonte: Autoria Própria (2018)

Nos cenários 7 e 8, a subclasse A para a classe A possui 42,86%, estando acima do intervalo relatado. Para a subclasse B o intervalo varia de 30% a 40%. A subclasse B para essa classe também é formada por 42,86% dos tipos e também excede o intervalo. A subclasse C é composta por 14,29% dos tipos de produtos, uma quantidade muito abaixo dos 50% estipulados.

Depois da subclassificação dos tipos de produtos enquadrados na classe A, emprega-se a subclassificação dos tipos de produtos pertencentes à classe B. A Tabela 10 apresenta a subclassificação para a classe B.

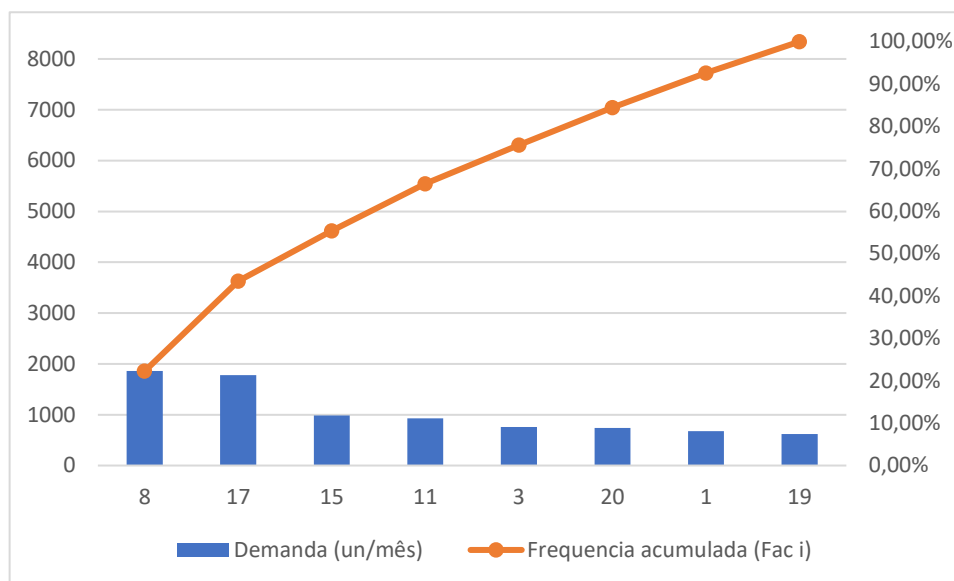
Tabela 10 - Subclassificação a partir do critério demanda mensal para a classe B

Classe B								
Produto <i>i</i>	Demanda (un/mês)	Frequência relativa (f_{r_i})		Produto <i>i</i>	Demanda (un/mês)	Frequência relativa (f_{r_i})	Frequência acumulada (f_{ac_i})	Subclasse
8	1858	22,27%	ordenação	8	1858	22,27%	22,27%	A
15	985	11,81%		17	1776	21,29%	43,56%	
20	739	8,86%		15	985	11,81%	55,37%	
17	1776	21,29%		11	926	11,10%	66,47%	B
3	761	9,12%		3	761	9,12%	75,59%	
11	926	11,10%		20	739	8,86%	84,45%	
1	678	8,13%		1	678	8,13%	92,58%	C
19	619	7,42%		19	619	7,42%	100,00%	

Fonte: Autoria Própria (2018)

Ao observar-se a Tabela 10, percebe-se que são da subclasse A os tipos de produtos pertencentes da classe B cuja soma das demandas representa 55,37% da demanda total da classe. A subclasse B é formada pelos tipos de produtos, que a soma das demandas corresponde a 29,08% do somatório total. E a subclasse C representa 15,55% da soma total da classe. O Gráfico 7 auxilia na compreensão das porcentagens.

Gráfico 7 - Diagrama de Pareto da subclassificação a partir do critério demanda mensal para a classe B



Fonte: Autoria Própria (2018)

A subclasse A para a classe A possui 37,50%, estando acima do intervalo proposto de 10% a 20%. A subclasse B também é composta por 37,50% dos tipos de produtos, entretanto, está dentro do intervalo. E a subclasse C está abaixo da porcentagem de 50% proposta, possuindo 25% dos tipos de produtos da classe B. Realiza-se a subclassificação para os tipos de produtos pertencentes à classe C para finalizar as subclassificações dos cenários 7 e 8. A subclassificação na classe C é apresentada na Tabela 11.

Tabela 11 - Subclassificação a partir do critério demanda mensal para a classe C

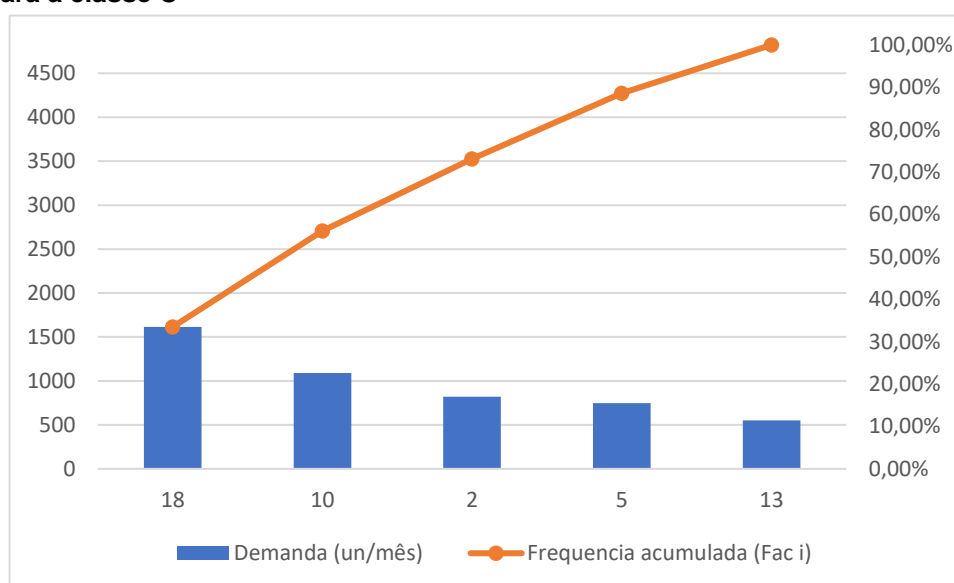
Classe C								
Produto i	Demanda (un/mês)	Frequência relativa (f_{r_i})	ordenação	Produto i	Demanda (un/mês)	Frequência relativa (f_{r_i})	Frequência acumulada (f_{ac_i})	Subclasse
18	1615	33,49%		18	1615	33,49%	33,49%	A
2	819	16,98%		10	1091	22,62%	56,11%	
13	551	11,42%		2	819	16,98%	73,09%	B
10	1091	22,62%		5	747	15,49%	88,58%	
5	747	15,49%	13	551	11,42%	100,00%	C	

Fonte: Autoria Própria (2018)

Ao analisar a Tabela 11, nota-se que a subclasse A é constituída por dois produtos cuja a soma das demandas corresponde a 56,11% da demanda total dessa

classe. A subclasse B é formada também por dois produtos cuja a soma das demandas representa 32,47% do somatório total. E por último, a subclasse C é constituída por um tipo de produto, que a massa corresponde a 11,42% do somatório total das demandas dos tipos de produtos da classe C. O Gráfico 8 fornece uma representação visual dessas porcentagens.

Gráfico 8 - Diagrama de Pareto da subclassificação a partir do critério demanda mensal para a classe C

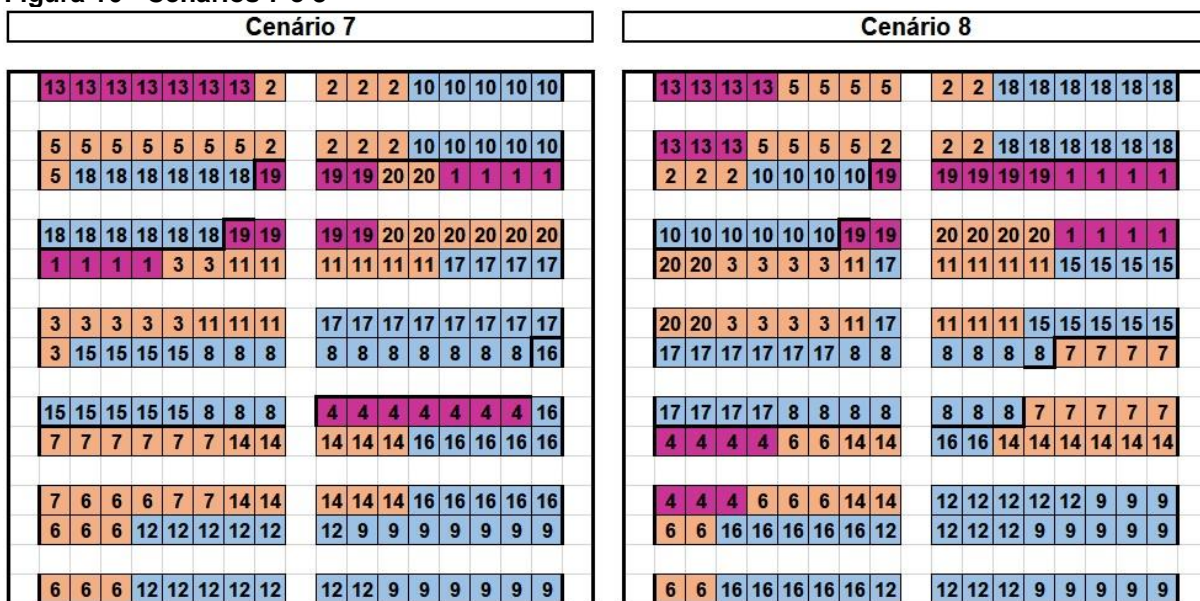


Fonte: Autoria Própria (2018)

A subclasse A possui 40% dos tipos de produtos pertencentes à classe C, excedendo o intervalo relatado de 10% a 20%. A subclasse B também possui 40% dos tipos de produtos da classe, contudo, está dentro do intervalo estipulado, que varia de 30% a 40% dos tipos. A subclasse C está abaixo da porcentagem de 50% estipulada, possuindo 20% dos tipos de produtos pertencentes à classe C. Apenas as subclasses B para as classes B e C respeitam os intervalos de porcentagens propostos.

A Figura 16 apresenta os cenários 7 e 8, resultados das aplicações de subclassificações usando o critério demanda mensal nas classes oriundas dos cenários 3 e 4.

Figura 16 - Cenários 7 e 8



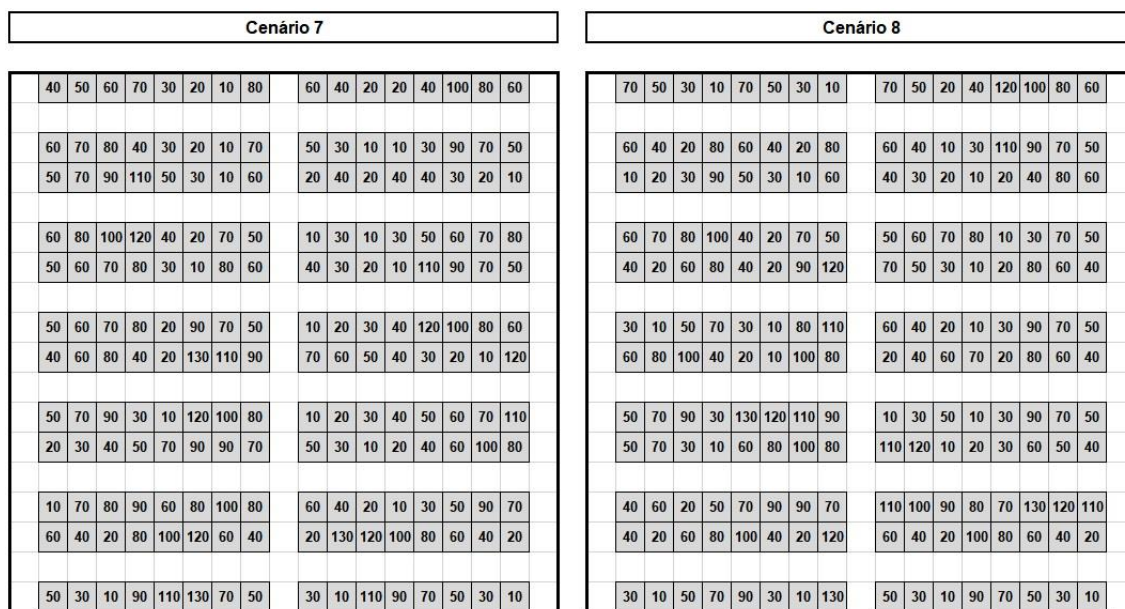
1/0

1/0

Fonte: Autoria Própria (2018)

Posterior a alocação das subclasses e tipos de produtos dentro de cada classe, é preciso determinar quais SKU's estarão em cada seção. A Figura 17 representa a atribuição das SKU's nas seções de armazenamento.

Figura 17 - SKU's nas seções dos cenários 7 e 8



1/0

1/0

Fonte: Autoria Própria (2018)

4.4 DESENVOLVIMENTO DA SIMULAÇÃO

A partir do entendimento de como os cenários foram criados, faz-se necessário conhecer detalhes da simulação. A presente seção descreve o processo de simulação e também explica como ocorre a inserção dos dados de entrada (*inputs*), a leitura deles pelo código de programação e a interface com o usuário. A primeira etapa da simulação do presente trabalho foi a criação das listas de coleta. Foram geradas dez listas de coleta, para cada uma dessas realizou-se vinte sorteios utilizando Simulação de Monte Carlo para a definição das SKU's.

Na Simulação de Monte Carlo primeiro deve-se calcular as frequências relativas dos tipos de produtos pelas demandas mensais e reordená-las de modo decrescente. Posteriormente, deve-se calcular as frequências acumuladas, que devem ser arredondadas para números inteiros. A frequência acumulada do último tipo de produto é obrigatoriamente 100. Com base nas frequências acumuladas formam-se “intervalos de probabilidade de escolha” para cada tipo de produto. A faixa do primeiro tipo irá de 0 até a frequência acumulada desse produto menos um ($f_{ac_i} - 1$). Os limites dos intervalos dos demais tipos de produtos seguirão a lógica apresentada nas Equações 9 e 10.

$$L_{i_i} = f_{ac_{i-1}} \quad (9)$$

$$L_{s_i} = f_{ac_i} - 1 \quad (10)$$

Onde:

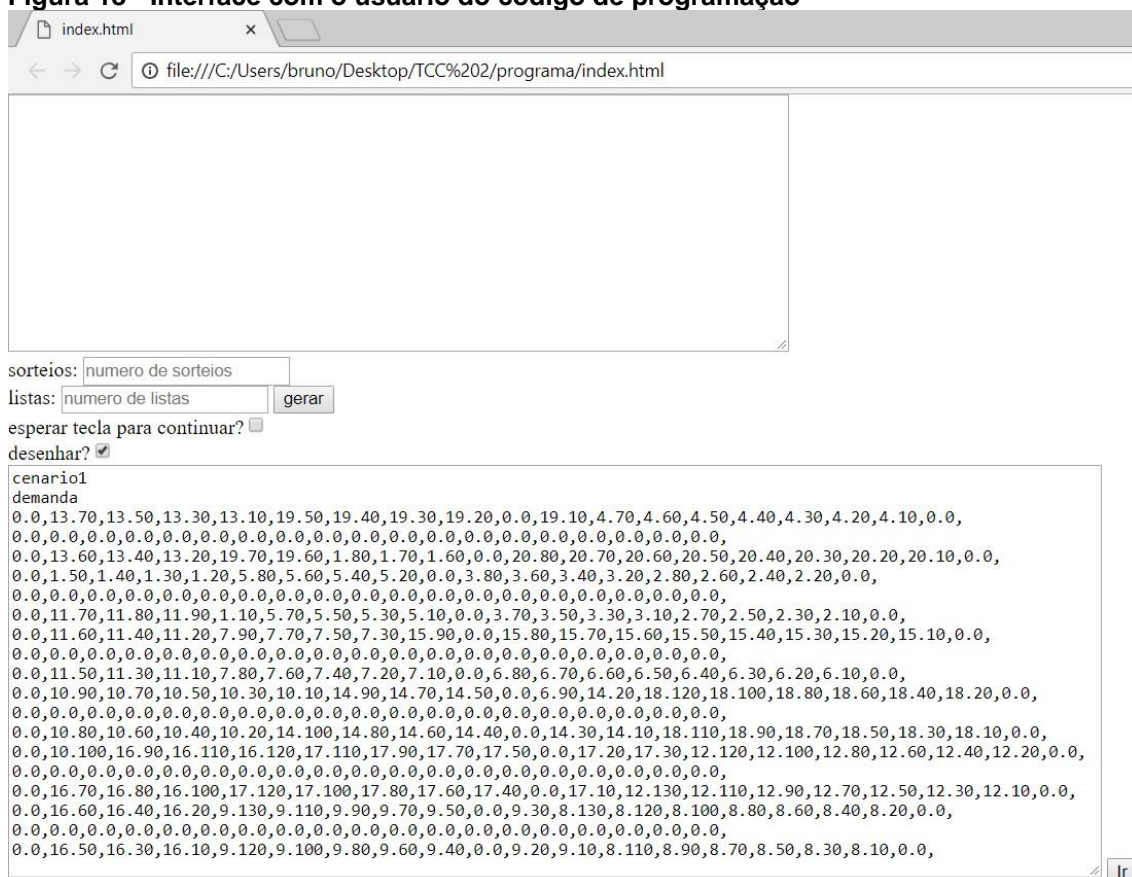
- L_{i_i} : limite inferior do “intervalo de probabilidade de escolha” do tipo de produto i ;
- L_{s_i} : limite superior do “intervalo de probabilidade de escolha” do tipo de produto i .

Os tipos de produtos que irão compor as listas de coleta serão definidos por meio da geração de vinte números, de 0 a 99, para cada lista. Analisa-se em qual “intervalo de probabilidade de escolha” dos tipos de produtos os números sorteados se encontram e então adicionam-se esses tipos a lista. Para finalizar o processo de criação das listas de coleta, é necessário gerar aleatoriamente um número adicional que em conjunto com o tipo de produto formam a SKU. O processo para formação das listas de coleta é realizado inteiramente pelo código de programação.

Como o sorteio foi aleatório, é concebível que uma mesma SKU tenha sido selecionada mais de uma vez para cada lista. Esse fato pode ser interpretado como pedidos distintos do mesmo cliente ou de clientes diferentes. Contudo, a estratégia de organização da atividade de coleta é por lote. As SKU's repetidas nas listas foram consideradas como oriundas de um único pedido e suas quantidades de coleta foram somadas. Sendo assim, as listas não necessariamente possuem vinte SKU's.

O processo não inicia sorteando imediatamente vinte números para cada lista e formando as dez listas de coleta. O código possui algumas interfaces com o usuário por intermédio do *Browser*. A Figura 18 mostra como é essa interface com o usuário.

Figura 18 - Interface com o usuário do código de programação



Fonte: Autoria Própria (2018)

Para iniciar a criação das listas de coleta, insere-se em “sorteios:” o número de sorteios de SKU's e em “listas:” a quantidade de listas de coleta que se deseja. Como descrito, nesse estudo foram criadas dez listas de coleta com vinte sorteios em cada. Uma vez que toda a estrutura do estudo, incluindo as constantes dos cálculos, foi desenvolvida para essa configuração. Depois que as informações são inseridas, pressiona-se o botão gerar para criar as listas. Após serem criadas as listas

permanecem constantes enquanto não se pressiona o botão novamente, fecha-se o *Browser* ou edita-se as listas.

Após a criação, as listas de coleta foram ordenadas de acordo com as classes oriundas das classificações de cada procedimento. Para os produtos do mesmo tipo dentro da lista, realiza-se uma sub ordenação crescente do número associado do código identificador da SKU.

As listas são criadas e lidas pelo código de programação em um formato específico. A Figura 19 apresenta um exemplo de como as listas são formadas. As listas de coleta completas estão nos Apêndices A, B, C, D e E.

Figura 19 - Exemplo do formato das listas de coleta

```
[[{"str":"2.25","val":2,"unit":"25","interval":[28,82],"qtd":68},{"str":"5.11",
"val":5,"unit":"11","interval":[13,38],"qtd":33},...,{"str":"20.12","val":20
,"unit":"12","interval":[25,74],"qtd":42}], [{"str":"2.39","val":2,"unit":"39",
"interval":[14,41],"qtd":16}, {"str":"2.55","val":2,"unit":"55","interval":[14
,41],"qtd":29},...][...{"str":"20.70","val":20,"unit":"70","interval":[13,37],
"qtd":20}]]
```

Fonte: Autoria Própria (2018)

O primeiro colchete indica o início da leitura e agrupa todas as dez listas. Os próximos colchetes delimitam as listas de coleta, após o término de uma lista fecha-se o colchete e abre-se outro para a próxima. Dentro das listas de coleta, as SKU's e as informações referentes a elas são separadas por chaves. O item "str" é a SKU que será coletada. Os itens "val" e "unit" são a fragmentação da SKU e são utilizados para a identificação da seção de armazenamento em que a respectiva SKU se encontra. O item "interval" é o intervalo de escolha para a quantidade a ser coletada e o "qtd" é a quantidade que será coletada da SKU.

Para os cenários também existe um formato específico para a inserção e leitura pelo código de programação. A Figura 20 apresenta um exemplo do formato para inserção dos cenários no código de programação.

Figura 20 - Exemplo do formato de inserção e leitura dos cenários

```

cenario1
demanda
0.0,13.70,13.50,13.30,13.10,19.50,19.40,19.30,19.20,0.0,19.10,4.70,4.60,4.50,4.40,4.30,4.20,4.10,0.0,
0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,
0.0,13.60,13.40,13.20,19.70,19.60,1.80,1.70,1.60,0.0,20.80,20.70,20.60,20.50,20.40,20.30,20.20,20.10,0.0,
0.0,1.50,1.40,1.30,1.20,5.80,5.60,5.40,5.20,0.0,3.80,3.60,3.40,3.20,2.80,2.60,2.40,2.20,0.0,
0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,
0.0,11.70,11.80,11.90,1.10,5.70,5.50,5.30,5.10,0.0,3.70,3.50,3.30,3.10,2.70,2.50,2.30,2.10,0.0,
0.0,11.60,11.40,11.20,7.90,7.70,7.50,7.30,15.90,0.0,15.80,15.70,15.60,15.50,15.40,15.30,15.20,15.10,0.0,
0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,
0.0,11.50,11.30,11.10,7.80,7.60,7.40,7.20,7.10,0.0,6.80,6.70,6.60,6.50,6.40,6.30,6.20,6.10,0.0,
0.0,10.90,10.70,10.50,10.30,10.10,14.90,14.70,14.50,0.0,6.90,14.20,18.120,18.100,18.80,18.60,18.40,18.20,0.0,
0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,
0.0,10.80,10.60,10.40,10.20,14.100,14.80,14.60,14.40,0.0,14.30,14.10,18.110,18.90,18.70,18.50,18.30,18.10,0.0,
0.0,10.100,16.90,16.110,16.120,17.110,17.90,17.70,17.50,0.0,17.20,17.30,12.120,12.100,12.80,12.60,12.40,12.20,0.0,
0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,
0.0,16.70,16.80,16.100,17.120,17.100,17.80,17.60,17.40,0.0,17.10,12.130,12.110,12.90,12.70,12.50,12.30,12.10,0.0,
0.0,16.60,16.40,16.20,9.130,9.110,9.90,9.70,9.50,0.0,9.30,8.130,8.120,8.100,8.80,8.60,8.40,8.20,0.0,
0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,
0.0,16.50,16.30,16.10,9.120,9.100,9.80,9.60,9.40,0.0,9.20,9.10,8.110,8.90,8.70,8.50,8.30,8.10,0.0,

```

Fonte: Autoria Própria (2018)

Na primeira linha adiciona-se “cenario” seguido da sua numeração sem espaçamento. Na segunda linha insere-se o critério usado na classificação de cada procedimento, por exemplo, para os cenários 1 e 2 será a demanda. As demais linhas representam as linhas do armazém. As seções (ou espaços do corredor) são separadas com vírgulas, e também se adiciona vírgula ao fim de cada linha. Para as seções, o primeiro número mostra qual tipo de produto está armazenado. O segundo número sinaliza as SKU's encontradas na seção, indicando o limite máximo não incluso dessas. Os corredores são representados com “0.0”, desse modo, o código interpreta que o local não é uma seção de armazenamento. Portanto, as entradas (*inputs*) do programa são o cenário, número de sorteios e quantidade de listas (consequentemente as próprias listas de coleta).

As saídas (*outputs*) do programa são as listas de coleta sem réplicas e ordenadas, a distância percorrida e o número de retornos para descarregar. No decorrer da simulação, a cada viagem de coleta, o código de programação apresenta a SKU que foi coletada, o intervalo de seleção da quantidade, as coordenadas Y e X do ponto (corredor) logo à frente da seção que armazena a respectiva SKU e por último, a quantidade efetivamente coletada.

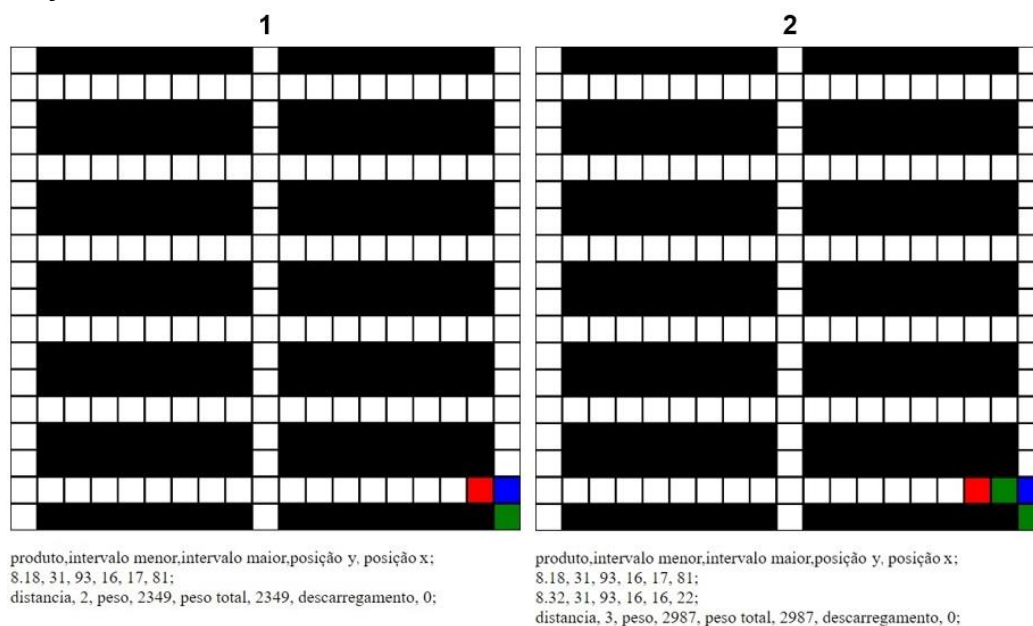
Contudo, essas informações apresentam o fracionamento dos pedidos, uma vez que são mostradas a cada viagem de coleta. Por exemplo, deve-se coletar 124 itens da SKU 12.9, o tipo de produto 12 possui 48 u.m. A capacidade máxima do equipamento de coleta não é suficiente para coletar todas as 124 unidades de uma única vez. Se o equipamento de coleta estiver vazio no início da retirada, aparecerá para o usuário duas coletas de 62 ($124/2$) itens da SKU 12.9. Caso o equipamento

estiver com parte da capacidade ocupada, o pedido será fracionado em mais que duas viagens de coleta.

Antes da apresentação e análise dos resultados, é relevante averiguar se as distâncias dadas na saída do código de programação foram computadas corretamente. Para isso, é necessário certificar se a distância apresentada ao usuário em cada viagem corresponde ao caminho realizado pelo coletor na representação gráfica. Por meio da representação visual também é possível verificar se os descarregamentos foram considerados quando de fato ocorreram.

A verificação será realizada por intermédio da comparação da distância apresentada com a distância mostrada na representação gráfica. Serão analisadas as seis primeiras viagens da simulação no cenário 1. A Figura 21 apresenta as informações referentes as duas primeiras viagens, como a distância percorrida, o número de descarregamentos e a representação gráfica das mesmas.

Figura 21 - Informações e representação gráfica da primeira e segunda movimentações da simulação no cenário 1



Fonte: Autoria Própria (2018)

A primeira viagem foi de coleta, na qual retirou-se 81 itens da SKU 8.18. Os números 31 e 93, são os limites do intervalo de seleção de quantidades calculado pelo código de programação. As equações (7 e 8) para o cálculo dos limites desse intervalo se encontram na seção referente a simulação e análise no Capítulo metodologia. A distância total percorrida apresentada pelo programa foi de 2 u.d. Ao observar a

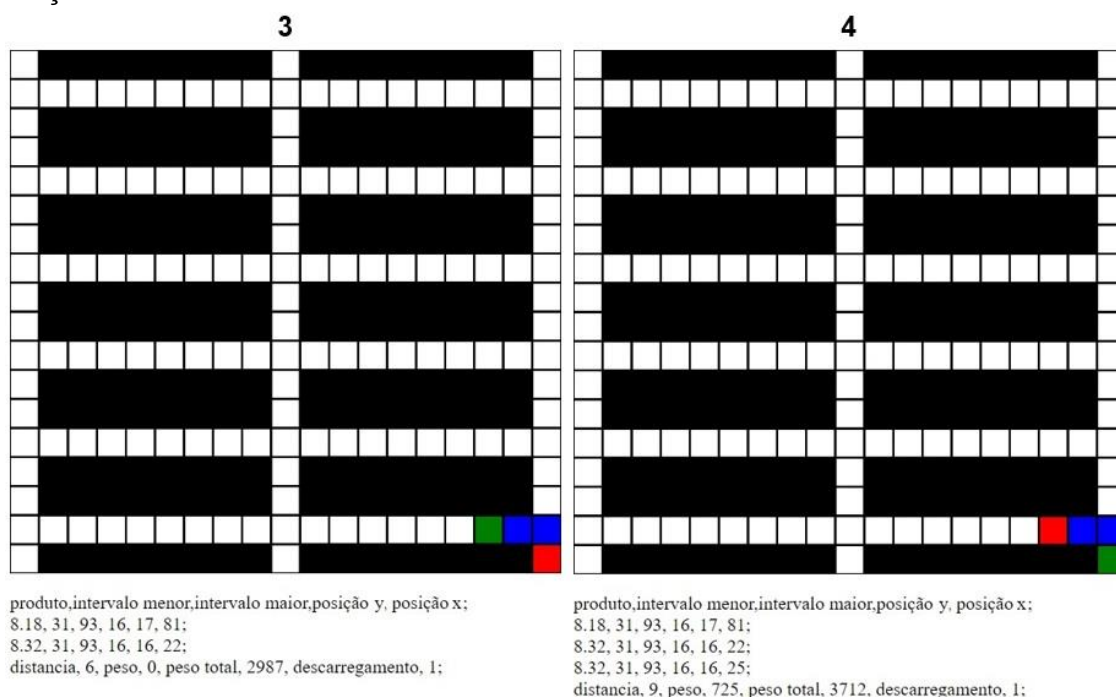
representação gráfica, excluindo o ponto inferior direito (coordenadas X:18, Y:17), constata-se que a distância foi realmente de 2 u.d.

A cor vermelha no ponto sinaliza que o operador se encontra naquele local. A cor verde indica os lugares que o operador já parou. Os demais pontos em azul representam o trajeto já realizado. Quando o operador passa novamente por um ponto verde durante uma nova viagem, o local torna-se azul.

A segunda viagem também foi para coleta, na qual retirou-se 22 itens da SKU 8.32. Contudo, os 22 itens não são a quantidade total que deve ser coletada dessa SKU, uma vez que a quantidade mínima do intervalo de seleção é 31 itens. Em suma, como coletou-se toda a quantidade da SKU anterior e a capacidade do equipamento ainda não estava completa, o operador coletou uma quantidade suficiente para completar a capacidade.

A distância total percorrida mostrada pelo programa foi de 3 u.d., diminuindo 2 u.d. referentes a viagem anterior, observa-se que a distância na segunda viagem foi de 1 u.d. Ao analisar a representação visual, verifica-se que a distância que o coletor percorreu foi efetivamente de 1 u.d. A Figura 22 mostra as informações, a distância percorrida e a representação gráfica para a terceira e quarta movimentações da simulação no cenário 1.

Figura 22 - Informações e representação gráfica da terceira e quarta movimentações da simulação no cenário 1



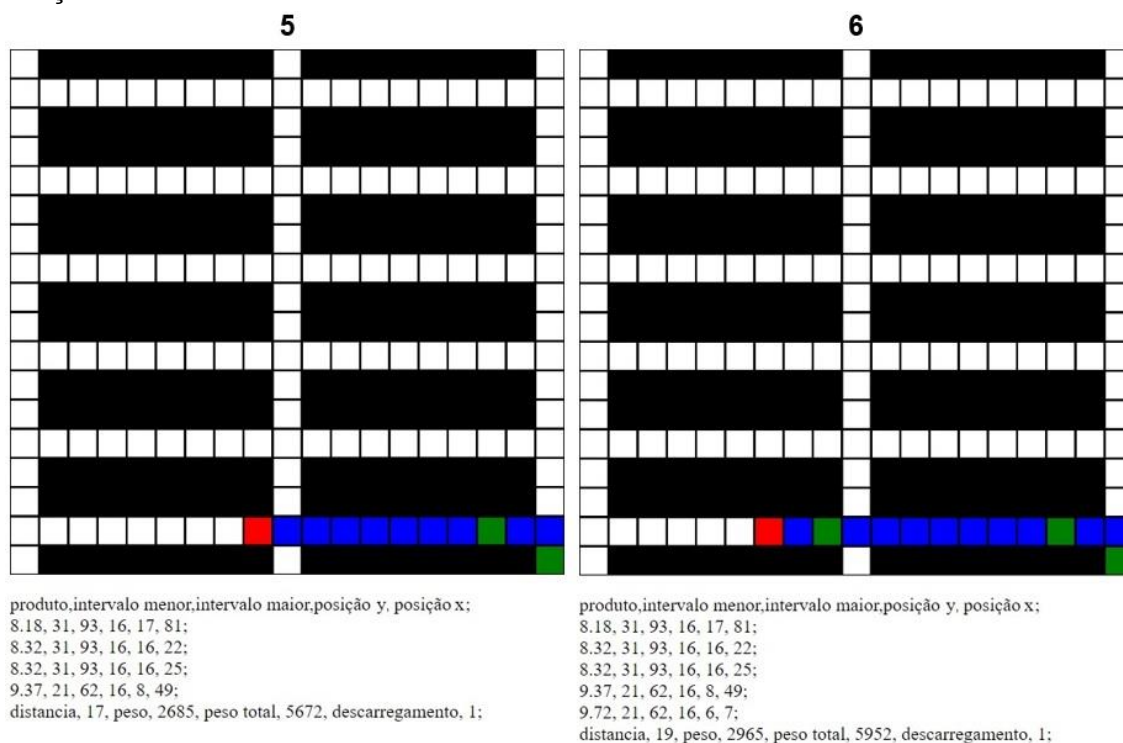
Fonte: Autoria Própria (2018)

A terceira movimentação foi para descarregamento. Observa-se que não existe nenhuma outra informação sinalizando coleta. Uma vez que no final da segunda viagem, o equipamento de coleta carregava 2987 u.m. e não era possível coletar mais nenhum item da SKU 8.32. Dessa forma, o operador retornou para a porta do departamento para descarregar, contabilizando um descarregamento na simulação.

A distância total percorrida apresentada foi de 6 u.d, retirando 3 u.d referentes as viagens anteriores, constata-se que a distância na terceira movimentação foi de 3 u.d. Verifica-se, ao observar a representação gráfica, que a distância percorrida foi efetivamente de 3 u.d.

A quarta viagem foi de coleta, na qual retirou-se mais 25 itens da SKU 8.32. Sendo assim, a quantidade total coletada da SKU 8.32 foi de 47 (22+25) itens. A distância total retratada foi de 9 u.d., subtraindo 6 u.d. referentes as viagens anteriores, observa-se que a distância na quarta viagem foi de 3 u.d. Constata-se, ao analisar a representação visual, que a distância percorrida foi realmente de 3 u.d. A Figura 23 apresenta as informações, a distância percorrida e a representação visual para a quinta e sexta viagens.

Figura 23 - Informações e representação gráfica da quinta e sexta movimentações da simulação no cenário 1



Fonte: Autoria Própria (2018)

A quinta viagem foi de coleta, na qual retirou-se 49 itens da SKU 9.37. Não se realizou descarregamento antes dessa coleta. Apesar da segunda coleta da SKU 8.32 ter sido maior que a primeira, a massa desse tipo de produto é relativamente pequena. Desse modo, o equipamento de coleta estava apenas com 725 u.m., uma vez que havia acabado de descarregar na viagem anterior. Em resumo, o operador coletou o restante dos itens da SKU 8.32 e o equipamento ainda possuía capacidade ociosa, sendo assim, prosseguiu para a coleta da SKU 9.37.

A distância total percorrida informada foi de 17 u.d, subtraindo 9 u.d referentes as viagens anteriores, conclui-se que a distância na quinta viagem foi de 8 u.d. Constata-se, ao observar a representação gráfica, que a distância percorrida foi efetivamente de 8 u.d.

A sexta viagem também foi para coleta, na qual retirou-se 7 itens da SKU 9.72. Entretanto, esses 7 itens não representam a quantidade total que deve ser coletada, visto que a quantidade mínima do intervalo de seleção é 21 itens. O operador coletou toda a quantidade necessária da SKU 9.37 e a capacidade do equipamento ainda não estava completa. Dessa forma, iniciou a coleta da SKU 9.72. O equipamento de coleta estava com 2685 u.m.

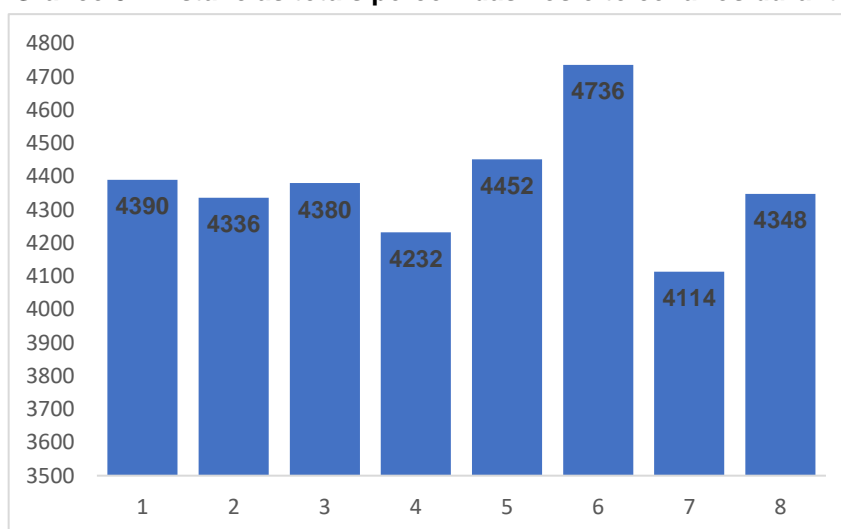
A distância total percorrida apresentada foi de 19 u.d, subtraindo 17 u.d referentes as viagens anteriores, constata-se que a distância foi de 2 u.d. Conclui-se, ao analisar a representação visual, que a distância percorrida foi verdadeiramente de 2 u.d.

Após a verificação e comparação, conclui-se que o código de programação computa as distâncias percorridas e o número de descarregamentos corretamente. Além disso, observa-se também que o programa considera corretamente a capacidade máxima do equipamento de coleta. Desse modo, pode-se apresentar e analisar os resultados com confiança na execução dos procedimentos.

5 ANÁLISE E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Serão analisados os valores das distâncias percorridas na simulação da coleta em cada um dos cenários. Acontecerá uma avaliação particular em cada cenário, caso seja necessário estratificar a distância percorrida em cada lista de coleta. Com as análises, busca-se apontar qual dos procedimentos de classificação e designação foi mais eficiente, fornecendo os cenários com as menores distâncias percorridas. O Gráfico 9 apresenta a comparação das distâncias totais percorridas nos oito cenários durante a simulação da atividade de coleta de pedidos.

Gráfico 9 - Distâncias totais percorridas nos oito cenários durante a simulação



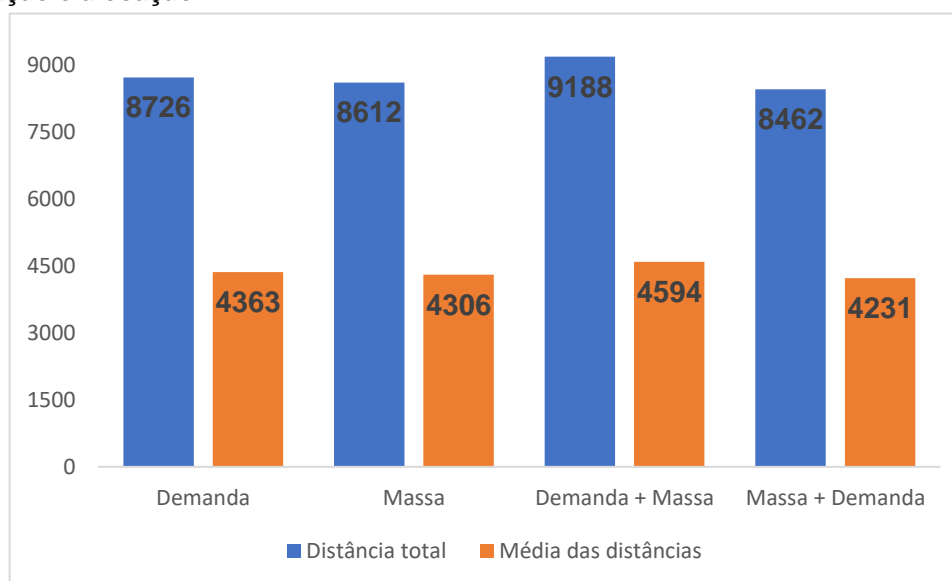
Fonte: Autoria Própria (2018)

Constata-se, ao observar o Gráfico 9, que o cenário 6 ofereceu a maior distância total percorrida. Também se notou que o cenário 7 foi o que proporcionou a menor distância total percorrida. Entretanto, ainda não se pode afirmar de forma unânime, que o método que originou o cenário 7 é o melhor procedimento para classificar e alocar os tipos de produtos dentro do departamento. Para cada procedimento de classificação e alocação criou-se dois cenários. Desse modo, é relevante analisar a distância total percorrida no cenário 8, que é oriundo da mesma classificação utilizada para o cenário 7.

O cenário 8 proporciona a quarta menor distância percorrida, sendo essa 5,69% maior que a distância encontrada no cenário 7. Os cenários 4 e 2 proporcionaram a segunda e a terceira menor distância, respectivamente. As distâncias proporcionadas pelos cenários 4 e 2 são 2,87% e 5,40% maiores que a

distância no cenário 7. Sendo assim, também se faz necessário analisar as distâncias totais percorridas por método de classificação e alocação. O Gráfico 10 apresenta a comparação das distâncias por procedimento, para isso soma-se as distâncias dos cenários de cada método. Além de estudar as distâncias totais, analisara-se as distâncias médias em cada procedimento.

Gráfico 10 - Distâncias totais percorridas para os quatro procedimentos de classificação e alocação



Fonte: Autoria Própria (2018)

O procedimento que primeiro separa os tipos de produtos de acordo com suas massas e depois subclassifica os tipos de cada classe usando a demanda mensal apresentou a menor distância total e média. Deve-se salientar que os cenários originados desse método foram os cenários 7 e 8. Sendo assim, o cenário 7, que forneceu a menor distância, puxou a soma e a média das distâncias para baixo. Entretanto, sabe-se que a segunda e terceira menor distância foram proporcionados por cenários oriundos de procedimentos diferentes. Dessa maneira, os pares dos cenários 4 e 2 possuem distâncias maiores que a fornecida pelo cenário 8.

A vista disso, para as condições propostas do presente estudo, o procedimento que primeiro separa os tipos de produtos de acordo com suas massas e depois subclassifica os tipos de cada classe usando a demanda mensal, forneceu a melhor solução. Uma vez que originou os cenários que conferiram a primeira e a quarta menor distância. A segunda e terceira menor distância não foram oferecidas por cenários oriundos do mesmo procedimento. Em suma, para as condições e

restrições do presente estudo, o método que originou os cenários 7 e 8 possui um melhor desempenho.

Os resultados por procedimento de classificação e designação são consequência dos resultados por cenário, que por sua vez procedem dos resultados em cada lista de coleta. Portanto, é interessante analisar as distâncias percorridas nas listas para cada cenário. A Tabela 12 compara as distâncias percorridas em cada lista de coleta com a distância média das listas para cada cenário.

Tabela 12 - Comparação das distâncias percorridas nas listas com a distância média das listas para cada cenário

Critério	Cenário	Distâncias (u.d.)										TOTAL
		Listas										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Demanda	1	472	466	446	378	368	456	466	428	430	480	4390
	2	420	482	486	378	408	478	496	398	390	400	4336
Massa	3	474	502	460	326	410	492	480	438	400	398	4380
	4	470	448	462	384	408	456	424	378	426	376	4232
Demanda + Massa	5	476	434	530	436	408	470	406	384	420	488	4452
	6	520	502	526	438	420	480	442	448	466	494	4736
Massa + Demanda	7	448	430	476	352	402	428	432	334	398	414	4114
	8	522	436	492	364	388	474	448	406	406	412	4348

Fonte: Autoria Própria (2018)

Ao analisar essa comparação, nota-se que em todos os cenários as listas de coleta 4 e 5 proporcionaram uma distância percorrida menor que a média para os cenários. Contudo, ao analisar a Tabela 13, com alguns dados referentes as listas de coleta, percebe-se que esses resultados não são influencia de apenas uma variável. Os dados das listas de coleta 4 e 5 não possuem uma diferença exagerada em relação aos dados das demais listas. Portanto, as distâncias menores que as médias nessas listas, tendem a ser resultado de uma combinação de variáveis. Deve-se salientar que as distâncias também são afetadas pelas disposições das classes e pela alocação dos tipos de produtos.

Tabela 13 – Dados das listas de coleta

Lista i	Número de SKU's	Quantidade total coletada	Massa total (u.m.)
1	20	1083	33072
2	18	1078	30740
3	19	1210	36448
4	20	918	26803
5	19	1077	32093
6	19	1078	31048
7	18	951	33193
8	20	946	26362
9	20	1068	31811
10	20	991	28051

Fonte: Aatoria Própria (2018)

Os cenários 3 e 4 foram construídos com a versão adaptada da Classificação ABC, que classifica os tipos de produtos utilizando suas massas. O objetivo de usar esse critério era reduzir a distância total percorrida por meio da alocação dos tipos de produtos mais pesados próximos ao ponto de entrada e saída do departamento. Dessa forma, o método considera a capacidade máxima do equipamento de coleta.

Sendo assim, com a aplicação do procedimento que classifica os tipos de produtos usando o critério massa, buscava-se reduzir a distância total percorrida por meio da redução da distância nos descarregamentos. Visto que teoricamente a distância percorrida para descarregar seria menor se não coubesse mais nenhuma unidade quando o operador estivesse nas proximidades do ponto de entrada e saída.

Ao alocar os tipos de produtos de maior massa próximo à porta do departamento, hipoteticamente assegura-se que o equipamento não suportará a coleta de mais nenhuma unidade quando o operador estiver próximo dessa região. E quando o operador retirar os produtos de menor massa alocados no final do departamento, será necessário a coleta de muitos tipos de produtos para que o equipamento não suporte a coleta de mais nenhuma unidade.

Os cenários gerados por meio de procedimentos que utilizam os critérios demanda mensal e massa dos produtos buscam aproveitar as melhores características de cada critério. O critério demanda permite alocar os tipos de produtos com maior saída próximo da porta do departamento. Dessa forma, teoricamente a

maioria das viagens de coleta seriam de pequenas distâncias. E o critério massa dos produtos procura reduzir a distância das movimentações de descarregamento.

Entre os cenários que proporcionaram as menores distâncias, um foi criado por meio do uso dos dois critérios, um apenas pelo critério massa e outro apenas pelo critério demanda. O cenário que forneceu a menor distância, foi criado com a aplicação do procedimento que classifica os tipos de produtos usando suas massas e posteriormente subclassifica os tipos de cada classe usando a demanda. Ao analisar a distância total por método de classificação e designação, observa-se que os dois procedimentos que proporcionaram as menores distâncias utilizaram o critério massa para separar os tipos de produtos em classes.

Desse modo, para as condições propostas no presente estudo, destacou-se o conceito de reduzir a distância das movimentações de descarregamento. O procedimento que classifica usando o critério massa e subclassifica usando a demanda, mostrou-se mais efetivo. Porque, além da redução das movimentações de descarregamento por meio da alocação das classes, dentro de cada classe também se reduziu a distância percorrida durante as viagens de coleta mais frequentes.

Ao analisar apenas as classificações, desconsiderando as subclassificações, encontra-se basicamente duas estratégias para redução da distância total percorrida. A estratégia dos procedimentos que classificam a partir da demanda mensal é reduzir a distância total por intermédio da redução da distância das viagens de coleta mais frequentes. O objetivo dos procedimentos que classificam usando a massa dos produtos é reduzir a distância total por meio da redução da distância das movimentações de descarregamento.

O procedimento que primeiro separa os tipos de produtos em classes usando suas massas e depois subclassifica os tipos de cada classe usando a demanda mensal proporcionou o melhor resultado para as condições propostas no estudo. Não se pode afirmar que esse procedimento de classificação e alocação fornecerá a melhor solução para todo e qualquer armazém e quantidade de produtos.

6 CONCLUSÕES

Existem basicamente três motivos para que a operação de coleta de pedidos seja mais eficiente. O primeiro motivo é porque tornou-se mais difícil para as corporações se destacarem entre os concorrentes no que se refere a eficácia operacional, devido ao fluxo de informações e a disseminação de melhores práticas.

O segundo motivo é a mudança nas expectativas e no padrão de pedidos dos clientes, que começaram a exigir um melhor nível de serviço com um baixo custo associado. Além disso, os clientes também passaram a pedir pequenos lotes com maior variedade de produtos em uma frequência de envio maior ao invés de lotes maiores em uma menor frequência. E o terceiro motivo refere-se a importância financeira da atividade de coleta de pedidos. As operações em um armazém representam a cerca de 20% dos custos logísticos do setor privado. Sendo a atividade de coleta e seleção de pedidos responsável por mais de 50% dos custos operacionais de um armazém.

Dessa maneira, melhorar a eficiência da atividade de coleta de pedidos é relevante para que as empresas conquistem vantagens competitivas. Estudos anteriores melhoraram a eficiência dessa atividade utilizando basicamente quatro maneiras: utilização de métodos de roteamento, consolidação de pedidos em lotes, zoneamento e a alocação adequada dos tipos de produtos no armazém. O modo escolhido no presente estudo foi a alocação eficiente dos tipos de produtos.

Entretanto, poucos autores consideraram as restrições dos equipamentos de coleta na designação dos locais de armazenagem. O objetivo geral do trabalho foi justamente avaliar diferentes procedimentos de designação dos locais de armazenagem buscando a menor distância total percorrida durante a coleta de pedidos.

O presente trabalho cumpriu com o objetivo geral estipulado, bem como, com os objetivos específicos. Entre esses objetivos é válido destacar o levantamento bibliográfico sobre o tema e a realização da simulação da atividade de coleta de pedidos. Foi proposto um modelo de *layout* geral para o armazém. E baseado na disposição fixa dos elementos apresentada foi proposto um modelo de armazém com o número de blocos, prateleiras e seções de armazenamento predefinidos.

O cenário 7 proporcionou a menor distância percorrida. Todavia, o cenário 8, que é oriundo do mesmo método de classificação e designação usado para a

construção do cenário 7, proporcionou a quarta menor distância. Os cenários 4 e 2 forneceram a segunda e terceira menor distância, respectivamente. No entanto, esses cenários não são oriundos do mesmo procedimento de classificação e alocação.

Ao analisar as distâncias totais percorridas por procedimento, observa-se que o método que primeiro separa os tipos de produtos em casses usando suas massas e depois subclassifica os tipos de cada classes usando a demanda mensal proporcionou a menor distância total e média. Desse modo, pode-se afirmar que para as condições propostas, o respectivo procedimento ofereceu a melhor resposta. Visto que originou os cenários com a primeira e quarta menor distância. Deve-se salientar que os procedimentos que proporcionaram as duas menores distancias totais e médias utilizaram o critério massa dos produtos nas classificações.

Portanto, pode-se afirmar, que para as condições estipuladas, a redução da distância total por meio da redução da distância das movimentações de descarregamento é mais eficaz. Como os métodos que oferecem esse tipo de redução são aqueles que armazenam os tipos de produtos de maior massa próximos da porta, conclui-se que a capacidade máxima do equipamento de coleta possui demasiada influência sobre a distância total percorrida.

No entanto, deve-se destacar que as considerações obtidas na análise dos resultados apenas são válidas para o presente trabalho. Foram propostas condições na modelagem do estudo, ou seja, existem diversas variáveis que foram fixadas para a realização do trabalho. A mudança dessas variáveis pode acarretar em resultados diferentes e, conseqüentemente, conclusões diferentes.

Sugere-se para futuros trabalhos que a quantidade de tipos de produtos seja maior, assim como os intervalos de seleção das demandas mensais e massas dos produtos. Com uma amplitude maior entre as demandas mensais e massas dos produtos, a análise da eficiência dos procedimentos de designação dos locais de armazenagem será mais consistente.

Com uma quantidade maior de tipos de produtos, pode ser necessário a criação de um modelo de armazém também maior. Dessa forma, também se torna interessante a formação de mais cenários para cada procedimento de classificação e designação dos locais de armazenagem. Visto que para cada procedimento pode-se formar diferentes disposições das classes utilizando a mesma regra de priorização e alocação.

Para trabalhos futuros, propõem-se que o modelo e a simulação sejam variáveis e flexíveis. De modo que o usuário possa determinar as dimensões do modelo de armazém, a quantidade de tipo de produtos, os limites dos intervalos de seleção das características dos produtos e as porcentagens utilizadas nas Classificações ABC. Além de manter as interfaces com o usuário já existentes, como a definição de quantidade de listas de coleta e de sorteios por lista. Dessa maneira, se analisará a distância total percorrida durante a atividade de coleta e seleção para diferentes variáveis.

REFERÊNCIAS

ACCORSI, R.; MANZINI, R.; BORTOLINI, M. A hierarchical procedure for storage allocation and assignment within an order-picking system. A case study. **International Journal of Logistics: Research and Applications**, Bologna, Italy, v. 15, n. 6, p. 351-364, 2012.

ALVES, E. O. **Modelo multicritério para alocação de produtos focado em níveis de serviço**. 2014. 96 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014.

ANG, M.; LIM, Y.; SIM, M. Robust Storage Assignment in Unit-Load Warehouse. **Management Science**. Hong Kong, v. 58, n. 11, p. 2114-2130, 2012.

ASHAYERI, J.; GELDERS, L.; WASSENHOVE, L. V. A microcomputer-based optimization model for the design of automated warehouses. **International Journal of Production Research**, Leuven, Belgium, v. 23, n. 4, p. 825-839, 1985.

ASKIN, R. G.; STANDRIDGE, C. R. **Modeling and analysis of manufacturing systems**. John Wiley & Sons, New York, 1993.

BALLOU, R. H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos / Logística Empresarial**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. Tradução de Raul Rubenich.

BALLOU, R. H. **Logística empresarial: transportes, administração de materiais e distribuição física**. São Paulo: Atlas, 1993. Tradução de Hugo T. Y. Yoshizaki.

BANKS, J. et al. **Discrete-event system simulation**. 2. ed. Prentice-Hall, New Jersey, 1984.

BANZATO, E. et al. **Atualidades na armazenagem**. 3. ed. São Paulo: IMAM. 2010.

BARROS, M. C. **Warehouse Management System (WMS): Conceitos Teóricos e Implementação em um Centro de Distribuição**. 2005. 132 f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 2005.

BARTHOLDI III, J. J.; HACKMAN, S. T. **Warehouse & distribution science.**

Release 0.98, 2017. Disponível em: <

<http://www2.isye.gatech.edu/~jjb/wh//book/editions/wh-sci-0.98.pdf> >. Acesso em: 29 out. 2017.

BARTHOLDI, J. J.; EISENSTEIN, D. D.; FOLEY, R. D. Performance of bucket brigades when work is stochastic. **Operations Research**, Maryland, USA, v. 49, n. 5, p. 710-719, 2001.

BASSAN, Y.; ROLL, Y.; ROSENBLATT, M. J. Internal layout design of a warehouse. **AIIE Transactions**, Beer-Sheva, Israel, v. 12, n. 4, p. 317-322, 1980.

BAUDIN, M. **Lean Logistics: The Nuts and Bolts of Delivering Materials and Goods.** Productivity, Newyork, 2004.

BEAMER, S.; ASANOVIC, K.; PATTERSON, D. Direction-Optimizing Breadth-First Search. **Scientific Programming**, Berkeley, CA, USA, v. 21, p. 137-148, 2013.

BERNARDI, L. A. **Manual de empreendedorismo e gestão: fundamentos, estratégias e dinâmicas.** 1. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

BISQUERRA, R.; SARRIERA, J. C.; MARTÍNEZ, F. **Introdução à estatística – enfoque informático com o pacote estatístico SPSS.** Porto Alegre: Artmed, 2004.

BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J. COOPER, M.B.; BOWERSOX, J. C. **Gestão da cadeia de suprimentos.** 4. ed. Porto Alegre: AMGH, 2014. Revisão técnica de Alexandre Pignanelli; tradução de Luiz Claudio de Queiroz Faria.

BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J. **Logística empresarial: o processo de integração da cadeia de suprimentos.** São Paulo: Atlas, 2007. Tradução pela Equipe do Centro de Estudos em Logística e Adalberto Ferreira das Neves.

BRAGA, L. M.; PIMENTA, C. M.; VIEIRA, J. G. V. Gestão de armazenagem em um supermercado de pequeno porte. **Revista P&D em Engenharia de Produção**, n. 8, p. 57-77, 2008.

BULLER, L. S. **Logística Empresarial.** Edição revisada. Curitiba: IESDE Brasil, 2012.

CALAZANS, Fabíola. **Centro de Distribuição**. Análise Setorial Gazeta Mercantil: Agosto, 2001.

CASSEL, R. A.; CARMO, F. D. C. F.; CAMPANA, F. L. RITTER, F. J.; SILVA, M. H. C. M. Simulação da Logística interna da área de armazenagem de uma empresa do Setor Moveleiro. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 22., 2002, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ENEGEP, 2002. p. 1-8.

CHAN, F. T. S.; CHAN, H. K. Improving the productivity of order picking of a manual-pick and multi-level rack distribution warehouse through the implementation of class-based storage. **Expert Systems with Applications**, Norwich, Norfolk, UK, v. 38, p. 2686-2700, 2011.

CHIANG, D.; LIN. C.; CHEN, M. The adaptive approach for storage assignment by mining data of warehouse management system for distribution centers. **Enterprise Information System**, Taipei, Taiwan, v. 5, n. 2, p. 219-234, 2011.

CHOPRA, S.; MEINDL, P. **Gestão da Cadeia de Suprimentos - Estratégia, Planejamento e Operações**. 4. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

CORMIER, G.; GUNN, E. A. A review of warehouse models. **European Journal of Operational Research**, v. 58, n. 1, p. 3-13, 1992.

COYLE, J. J. et al. **The management of business logistics**. 6. ed. West publishing, St. Paul, 1996.

CSCMP (COUNCIL OF SUPPLY CHAIN MANAGEMENT PROFESSIONAL). **CSCMP Supply Chain Management Definitions and Glossary**. 2013. Disponível em: <http://cscmp.org/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms/CSCMP/Educate>. Acesso em: 18 setembro 2017.

DE KOSTER, R.; LE-DUC, T.; ROODBERGEN, K. J. Design and control of warehouse order picking: A literature review. **European Journal of Operational Research**, The Netherlands, v. 182, n. 2, p. 481-501, 2007.

DIAS, M. A. P. **Administração de materiais: uma abordagem logística**. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2008.

DOLAVALE, A. S; LEAL, J. E. **Riscos na Implantação de Warehouse Management System (WMS) em Centro de Distribuição: Estudo de Caso.** 2010. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 2010.

ECKHARDT, R. Stan Ulam, John von Neumann, and the Monte Carlo method. **Los Alamos Science**, v. 15, 1987.

ENE, E.; ÖZTÜRK, N. Storage location assignment and order picking optimization in the automotive industry. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 60, p. 787-797, 2012.

FARAH JR., M. Os desafios da logística e os centros de distribuição física. **Revista FAE BUSINESS**, n. 02, p. 44-46, 2002.

FLEURY, P. F.; WANKE, P.; FIGUEIREDO, K. F. **Logística empresarial: a perspectiva brasileira.** São Paulo: Atlas, 2000.

FONTANA, M. E.; CAVALCANTE, C. A. V. Electre tri method used to storage location assignment into categories. **Brazilian Operations Research Society**, v. 33, n. 2, p. 283-303, 2013.

FRAZELLE, E. H. **World-class Warehousing and Material Handling.** McGraw Hill, New York, 2002.

FREITAS FILHO, P. J. **Introdução à modelagem e simulação de sistemas: com aplicações em Arena.** 2 ed. Florianópolis: Visual Books, 2008.

GHOSH, R. K.; BHATTACHARJEE, G. P. Parallel breadth-first search algorithms for trees and graphs. **International Journal of Computer Mathematics**, v. 15, p. 255-268, 1984.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa.** 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

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

GOETSCHALCKX, M. A review of unit load storage policies in warehouse operations. In: EURO XVI CONFERENCE, 16., Brussels. **Anais...** Brussels, 1998.

GOETSCHALCKX, M.; RATLIFF, H. D. Shared storage policies based on the duration stay of unit loads. **Management Science**, v. 36, n. 9, p. 1120-1132, 1990.

GORDON, G. **System simulation**. 2. ed. Prentice-Hall, New Jersey, 1969.

GRAVES, S. C.; HAUSMAN, W. H.; SCHWARZ, L. B. Storage-retrieval interleaving in automatic warehousing systems. **Management Science**, v. 23, n. 9, p. 935-945, 1977.

GU, J.; GOETSCHALCKX, M.; MCGINNIS, L. F. Research on warehouse design and performance evaluation: A comprehensive review. **European Journal of Operational Research**, v. 203, n. 3, p. 539-549, 2010.

GU, J.; GOETSCHALCKX, M.; MCGINNIS, L. F. Research on warehouse operation: a comprehensive review. **European Journal of Operational Research**, Atlanta, v. 177, n.1, p. 1-21, 2007.

GUE, K. R.; MELLER, R. D.; SKUFCA, J. D. The effects of pick density on order picking areas with narrow aisles. **IIE Transactions**, v. 38, n. 10, p. 859-868, 2006.

GUERRIERO, F.; MUSMANNO, R.; PISACANE, O.; RENDE, F. A mathematical model for the Multi-Levels Product Allocation Problem in a warehouse with compatibility constraints. **Applied Mathematical Modelling**, Arcavacata di Rende (CS), Italy, v. 37, p. 4385-4398, 2013.

HACKMAN, S. T.; ROSENBLATT, M. Allocating items to a preferred storage area. **IIE Transactions**, v. 22, n. 1, p. 7-14, 1990.

HAUSMAN, W. H.; SCHWARZ, L. B.; GRAVES, S. C. Optimal storage assignment in automatic warehousing systems. **Management Science**, v. 22, n. 6, p. 629-638, 1976.

HESKETT, J. L. Cube-per-order index – A key to warehouse stock location. **Transportation and Distribution Management**, v. 3, p. 27-31, 1963.

HORTA, M. C. S. G. **Otimização de Layout num Armazém de Produtos**

Perecíveis: O Caso da Jerónimo Martins. 2014. 94 f. Dissertação (Mestrado) – Engenharia e Gestão industrial, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, 2014.

HWANG, H.; OH, Y. H.; CHA, C. N. A stock location rule for a low level picker-to-part system. **Engineering Optimization**, Korea, v. 35, p. 285-295, 2003.

JANE, C.-C.; LAIH, Y.-W. A clustering algorithm for item assignment in a synchronized zone order picking system. **European Journal of Operational Research**, Taiwan, v. 166, n. 2, p. 489-496, 2005.

KARASAWA, Y.; NAKAYAMA, H.; DOHI, S. Trade-off analysis for optimal design of automated warehouses. **International Journal of Systems Science**, Japan, v. 11, n. 5, p. 567-576, 1980.

KELTON, W. D. et al. **Simulation with arena.** WCB/McGraw-Hill, New York, Cap. 1, p. 13, 1998.

LI, L. **Supply chain management: concepts, techniques and practices.** New Jersey: World Scientific, 2007.

LI, M.; CHEN, X.; LIU, C. Pareto and niche genetic algorithm for storage location assignment optimization problem. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INNOVATIVE COMPUTING, INFORMATION AND CONTROL, 3., 2008, Dalian, China. **Anais...** Dalian, China: ICICIC, 2008. p. 1-4.

LIU, C. M. Clustering techniques for stock location and order-picking in a distribution center. **Computers & Operations Research**, Taiwan, v. 26, n. 10-11, p. 989-1002, 1999.

MADADI, A.; KURZ, M. E.; ASHAYERI, J. Multi-level inventory management decisions with transportation cost consideration. **Transportation Research**, Tilburg, v. 46, n. 1, p. 719-734, 2009.

MAIA JUNIOR, H. De helicóptero é mais barato. **Revista EXAME**, São Paulo, v. 46, n. 8, p. 54, 2012.

MALIGO, F. **Modelo para Simulação da Operação de Carregamento de Caminhões-Tanque em uma Base de distribuição de Combustíveis Automotivos**. 2005. 170 f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 2005.

MARTINS, P. G.; ALT. P. R. C. **Administração de materiais e recursos patrimoniais**. 3. ed. revisada e atualizada. São Paulo: Saraiva, 2009.

MOURA, R. A. **Armazenagem**: do recebimento à expedição em almoxarifados ou centros de distribuição. 5. ed. São Paulo: IMAM, v. 2, 2008.

MOURA, R. A. **Armazenagem**: do recebimento à expedição. São Paulo: IMAM, v. 2, 1997.

MUPPANI, V. R. (Muppant); ADIL, G. K. A branch and bound algorithm for class based storage location assignment. **European Journal of Operational Research**, India, v. 189, p. 492-507, 2008. [a]

MUPPANI, V. R. (Muppant); ADIL, G. K. Efficient formation of storage classes for warehouse storage location assignment: A simulated annealing approach. **Omega-International Journal Of Management Science**, India, v. 36, p. 609-618, 2008. [b]

MUSETTI, M. A. A Engenharia e as Capacitações para a Logística Integrada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO DE ENGENHARIA, 29., 2001, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Cobenge, 2001. p. 95.

NOVAES, A. G. **Logística e Gerenciamento da Cadeia de Distribuição**. 4. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

OLIVEIRA, D. F. et al. **Aplicação do método AHP para realocação de produtos em sistemas logísticos**. Resumo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 43., 2011, Ubatuba. **Anais...** Ubatuba: SBPO, 2011.

PALADINI, E. P. A base humanística da gestão da qualidade. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 18., 1998, Niterói. **Anais...** Niterói: ENEGEP, 1998.

PALETTA, M. A.; SILVA, A. G. **Otimizando o layout do armazém através da movimentação eficiente de materiais**. 15 f. Material Institucional, Faculdade de Tecnologia Prof. Luiz Rosa e Centro Universitário Padre Anchieta, 2003.

PAN, J. C. H.; SHIH, P. H.; WU, M.H. Storage assignment problem with travel distance and blocking considerations for a picker-to-part order picking system. **Computers & Industrial Engineering**, Taiwan, v. 62, p. 527-535, 2012.

PAN, Y.; PEARCE, R.; OWENS, J. D. Scalable Breadth-First Search on a GPU Cluster. In: INTERNATIONAL PARALLEL AND DISTRIBUTED PROCESSING SYMPOSIUM, 2018. **Anais... IPDPS**, 2018. p. 1090-1101.

PARIKH, P. J. **Designing Order Picking Systems for Distribution Centers**. 2006. 160 f. Dissertação - Doctor of Philosophy em Engenharia Industrial e de Sistemas, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia, 2006.

PARIKH, P. J.; MELLER, R. D. Selecting between batch and zone order picking strategies in a distribution center. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, USA, v. 44, n. 5, p. 696-719, 2008.

PEDGEN, C. D. et al. **Introduction to simulation using SIMAM**. 2. ed. McGraw-Hill, New York, 1995.

PETERSEN, C. G. An evaluation of order picking policies for mail order companies. **Production and Operations Management**, DeKalb, Illinois, USA, v. 9, n. 4, p. 319-335, 2000.

PETERSEN, C. G. An evaluation of order picking routing policies. **International Journal of Operations & Production Management**, Illinois, USA, v. 17, n. 11, p. 1098-1111, 1997.

PETERSEN, C. G. Considerations in order picking zone configuration. **International Journal of Operations & Production Management**, DeKalb, Illinois, USA, v. 22, n. 7, p. 793-805, 2002.

PETERSEN, C. G. The impact of routing and storage policies on warehouse efficiency. **International Journal of Operations & Production Management**, Illinois, USA, v. 19, n. 10, p. 1053-1064, 1999.

PETERSEN, C. G.; GERALD, A. A comparison of picking, storage, and routing policies in manual order picking. **International Journal of Production Economics**, Illinois, USA, v. 92, p. 11-19, 2004.

PIMENTEL, M. K. B.; PEREIRA, N. A. S. Proposta de Modificação da Disposição da Armazenagem dos Produtos em um Centro de Distribuição na Região Metropolitana de Belém com Base na Classificação ABC. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 30., 2010, São Carlos. **Anais...** São Carlos: ENEGEP, 2010. p. 1-15.

PORTER, M. E. **Estratégia Competitiva** – Técnicas para análise de indústrias e da concorrência. 18. ed. São Paulo: Campus, 1986.

PORTER, M. E. What is Strategy. **Harvard Business Review**, Nov/Dec 1996.

POZO, H. **Administração de Recursos Materiais e Patrimoniais: Um a Abordagem Logística**. São Paulo: Atlas, 2016.

PRADO, D. S. **Teoria das Filas e da Simulação**. 4. ed. v. 2, Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviços, 2009.

PRADO, D. S. **Usando o Arena em Simulação**. 4. ed. v. 3, Belo Horizonte: INDG Tecnologia e Serviços, 2010.

PRITSKER, A. A. B. **Introduction to simulation and SLAM II**. 4. ed. John Wiley & Sons, New York, 1995.

RAHIM, R. et al. Congklak, a traditional game solution approach with breadth first search. In: MATEC WEB OF CONFERENCES, AASEC, 2018. **Anais...** 2018. p. 1-4.

RAMOS, A. S. M.; MELO, R. L. M. Impactos da implantação do WMS: um estudo a partir da percepção dos funcionários de uma indústria têxtil de grande porte. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 23., 2003, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto: ENEGEP, 2003. p. 1-8.

RICHARDS, G. **Warehouse management: A complete guide to improving efficiency and minimizing costs in the modern warehouse**. Kogan Page, 2011.

RODRIGUES, P. R. A. **Gestão Estratégica da Armazenagem**. 2. ed. São Paulo: Aduaneiras, 2007.

ROODBERGEN, K. J.; VIS, I. F. A. A survey of literature on automated storage and retrieval system. **European Journal of Operational Research**. Amsterdam, v. 194, n. 1, p. 343-362, 2009.

ROODBERGEN, K. J.; DE KOSTER, R. Routing methods for warehouses with multiple cross aisles. **International Journal of Production Research**, v. 39, n. 9, p. 1865-1883, 2001.

ROODBERGEN, K. J.; DE KOSTER, R. Routing order pickers in a warehouse with a middle aisle. **European Journal of Operation Research**, The Netherlands, v. 133, n. 1, p. 32-43, 2001.

ROODBERGEN, K. J.; SHARP, G. P.; VIS, I. F. A. Designing the layout structure of manual order picking áreas in warehouse. **IIE Transactions**, v.40, n. 11, p. 1032-1045, 2008.

ROODBERGEN, K. J.; VIS, I. F. A. A model for warehouse layout. **IIE Transactions**, Amsterdam, The Netherlands, v. 38, n. 10, p. 799-811, 2006.

ROSA, C. R. M. **Utilização de Análise Hierárquica de Processo para Centro de Distribuição**: um estudo de campo em empresa do ramo alimentício. 2013. 138 f. Dissertação (Mestrado) - Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2013.

ROUWENHORST, B.; REUTER, B.; STOCKRAHM, V.; VAN HOUTUM, G. J.; MANTEL, R. J.; ZIJM, W. H. M. Warehouse design and control: Framework and literature review. **European Journal of Operational Research**, v. 122, p. 515-533, 2000.

SAKAGUTI, F. Y. **Otimização do processo de picking de um centro de distribuição através da programação dinâmica**. 2007. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia, Setores de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

SANTOS, I. M.; SILVA, R. C. R.; LIMA, T. P. Localização e endereçamento de mercadorias no ponto de estocagem: uma proposta de melhoria para duas empresas comerciais. **Interfaces de saberes-FAFICA**, p. 1-16, 2008.

SCHWARZ, L. B.; GRAVES, S. C.; HAUSMAN, W. H. Scheduling policies for automatic warehousing systems: Simulation results. **AIIE Transactions**, v. 10, n. 3, p. 260-270, 1978.

SHIH, S. C.; HSU, S. H. Y.; ZHU, Z.; BALASUBRAMANIAN, S.K. Knowledge sharing – a key hole in the downstream supply chain. **Information & Management**, Namdong, v. 49, n. 1, p. 70-80, 2012.

SHIH, Y. C. **Simulação do processo de retirada de itens em CDP**: um estudo de caso em empresa do ramo automotivo. 2005. 138 f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

SILVA, L. M. F.; PINTO, M. G.; SUBRAMANIAN, A. Utilizando o software Arena como ferramenta de apoio ao ensino de Engenharia de Produção. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 27., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ENEGEP, 2007. p. 1-10.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. Edição Compacta, São Paulo: Atlas, Cap. 2, p. 56-57, 1999.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

SORIANO, F. F. **Gestão da armazenagem**: uma análise do sistema de gestão WMS. 2013. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Administração, Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2013.

TAHA, H. A. **Pesquisa operacional**: uma visão geral. 8. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008. Traduzido por Arlete Simille Marques. Revisão técnica de Rodrigo Arnaldo Scarpel.

TOMPKINS, J. A. et al. **Facilities Planning**. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1996.

TOMPKINS, J. A. et al. **Facilities Planning**. 4. ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2010.

TRINDADE, F. D. **Implementação de um Sistema WMS em uma empresa de bebidas**. 2016. 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Ouro Preto, João Monlevade, 2016.

TRKMAN, P.; MCCORMACK, K.; OLIVEIRA, M.; LADEIRA, M. The impact of business analytics on supply chain performance. **Decision Support Systems**, Ljubjana, v. 49, n. 3, p. 318-327, 2010.

VAUGHAN, T. S.; PETERSEN, C. G. The effect of warehouse cross aisles on order picking efficiency. **International Journal of Production Research**, v. 37, n. 4, p. 881-897, 1999.

VIJAYASARATHY, L. R. An investigation of moderators of the link between technology use in supply chain and supply chain performance. **Information & Management**, Fort Collins, v. 47, n. 1, p. 364-371, 2010.

WANKE, P. F. Logística e transporte de cargas no Brasil: Produtividade e eficiência no Século XXI. São Paulo: Atlas, 2010.

ZHOU, R.; HANSEN, E. A. Breadth-first heuristic search. **Artificial Intelligence**, Mississippi, USA, v. 170, p. 385-408, 2005.

APÊNDICE A – Listas de coleta 1 e 2

Lista de coleta 1					
SKU	I. Menor	I. Maior	Y	X	Qtde
2.25	28	82	4	16	68
5.11	13	38	4	8	33
5.30	13	38	4	7	18
6.18	34	101	7	16	96
7.40	32	95	7	6	49
8.18	31	93	16	17	81
8.32	31	93	16	16	47
9.37	21	62	16	8	49
9.72	21	62	16	6	54
9.83	21	62	16	6	22
10.81	19	55	10	1	41
10.94	19	55	13	1	44
12.74	31	92	13	14	52
12.9	31	92	13	17	55
14.81	37	111	10	6	90
15.34	17	50	7	14	26
15.85	17	50	7	8	26
16.48	58	173	16	1	128
18.118	54	162	10	12	62
20.12	25	74	1	16	42

Lista de coleta 2					
SKU	I. Menor	I. Maior	Y	X	Qtde
2.39	14	41	4	16	16
2.55	14	41	4	15	29
6.4	34	101	7	17	92
8.119	21	62	16	12	35
8.129	21	62	16	11	52
8.40	21	62	16	16	25
9.37	21	62	16	8	39
9.52	21	62	16	7	99
13.39	10	28	1	2	26
13.62	10	28	1	1	22
14.65	19	56	10	7	56
14.91	19	56	10	5	27
15.56	33	99	7	12	93
16.89	29	87	13	2	149
17.107	60	178	13	5	151
18.63	27	81	10	14	50
18.8	27	81	10	17	73
19.14	21	62	1	8	44

APÊNDICE B – Listas de coleta 3 e 4

Lista de coleta 3					
SKU	I. Menor	I. Maior	Y	X	Qtde
1.51	23	68	1	8	54
3.11	26	77	4	13	72
4.56	21	62	1	12	56
6.23	34	101	7	15	98
7.28	16	48	7	7	46
7.62	16	48	7	5	39
8.12	11	31	16	17	26
8.21	11	31	16	16	23
8.35	11	31	16	16	14
8.60	11	31	16	15	38
8.92	11	31	16	13	18
9.9	62	184	16	11	181
10.13	37	110	10	4	77
12.118	31	92	13	12	43
12.63	31	92	13	14	35
14.16	37	111	10	11	91
15.78	33	99	7	10	63
17.107	60	178	13	5	128
18.27	54	162	10	16	108

Lista de coleta 4					
SKU	I. Menor	I. Maior	Y	X	Qtde
2.39	10	28	4	16	20
2.64	10	28	4	14	23
2.70	10	28	4	14	21
3.67	26	77	4	10	61
4.57	21	62	1	12	59
6.71	34	101	7	10	76
8.69	62	186	16	14	94
9.117	31	92	16	4	83
9.97	31	92	16	5	83
10.18	13	37	10	4	27
10.24	13	37	10	4	36
10.72	13	37	10	1	16
11.11	16	47	7	3	30
11.24	16	47	7	2	17
12.102	31	92	13	12	76
12.126	31	92	13	11	79
13.21	19	56	1	3	32
19.30	11	31	1	7	18
19.55	11	31	1	5	27
20.21	25	74	1	15	40

APÊNDICE C – Listas de coleta 5 e 6

Lista de coleta 5					
SKU	I. Menor	I. Maior	Y	X	Qtde
1.59	23	68	1	8	46
5.4	25	75	4	8	49
6.31	34	101	7	14	53
7.54	16	48	7	5	46
8.112	21	62	16	12	33
8.34	21	62	16	16	57
8.90	21	62	16	13	34
9.30	31	92	16	10	68
9.48	31	92	16	8	76
10.21	37	110	10	4	48
11.17	11	31	7	3	16
11.21	11	31	7	2	24
11.51	11	31	7	1	31
12.51	61	183	13	15	179
15.22	33	99	7	15	48
16.31	58	173	16	2	110
18.111	27	81	10	12	50
18.85	27	81	10	13	81
19.16	21	62	1	8	28

Lista de coleta 6					
SKU	I. Menor	I. Maior	Y	X	Qtde
1.29	23	68	4	3	37
4.32	21	62	1	14	49
5.21	13	38	4	7	27
5.64	13	38	4	5	36
6.53	17	51	7	12	60
9.117	62	184	16	4	151
10.49	37	110	10	3	68
12.102	16	46	13	12	40
12.48	16	46	13	15	42
12.58	16	46	13	15	27
12.74	16	46	13	14	27
13.27	10	28	1	3	11
13.48	10	28	1	2	20
14.10	19	56	10	11	51
14.67	19	56	10	7	39
16.64	58	173	13	1	76
17.41	60	178	13	8	167
18.105	27	81	10	12	78
18.17	27	81	10	17	72

APÊNDICE D – Listas de coleta 7 e 8

Lista de coleta 7					
SKU	I. Menor	I. Maior	Y	X	Qtde
4.10	11	31	1	17	30
4.37	11	31	1	14	12
6.64	34	101	7	11	79
7.78	32	95	7	4	58
8.63	62	186	16	14	128
9.50	21	62	16	8	49
9.90	21	62	16	6	69
11.42	16	47	7	1	19
11.58	16	47	7	1	17
12.27	61	183	13	16	111
14.44	37	111	10	8	75
16.109	10	29	13	3	21
16.111	10	29	13	4	23
16.22	10	29	16	2	16
16.89	10	29	13	2	28
16.90	10	29	13	2	40
17.107	60	178	13	5	107
18.29	54	162	10	16	69

Lista de coleta 8					
SKU	I. Menor	I. Maior	Y	X	Qtde
4.35	21	62	1	14	52
5.31	25	75	4	7	75
6.21	17	51	7	15	24
6.82	17	51	10	10	27
7.35	16	48	7	6	38
7.71	16	48	7	4	28
9.10	31	92	16	11	38
9.109	31	92	16	5	80
10.30	19	55	10	4	37
10.86	19	55	10	1	53
12.126	31	92	13	11	33
12.53	31	92	13	15	43
13.27	10	28	1	3	21
13.56	10	28	1	1	10
16.66	29	87	13	1	69
16.75	29	87	13	2	61
17.38	60	178	13	8	153
18.100	18	54	10	13	25
18.40	18	54	10	16	31
18.80	18	54	10	14	48

APÊNDICE E – Listas de coleta 9 e 10

Lista de coleta 9					
SKU	I. Menor	I. Maior	Y	X	Qtde
1.47	23	68	4	1	68
2.24	14	41	4	16	34
2.61	14	41	4	14	38
7.81	32	95	7	4	64
8.52	62	186	16	15	130
9.15	31	92	16	10	69
9.80	31	92	16	6	91
11.30	31	93	7	2	76
12.23	16	46	13	16	35
12.72	16	46	13	14	22
12.85	16	46	13	13	39
12.98	16	46	13	13	44
16.26	58	173	16	2	102
17.36	15	45	13	8	30
17.63	15	45	13	7	29
17.75	15	45	13	6	25
17.96	15	45	13	5	31
18.100	54	162	10	13	83
19.45	11	31	1	5	31
19.59	11	31	1	5	27

Lista de coleta 10					
SKU	I. Menor	I. Maior	Y	X	Qtde
1.17	8	23	4	4	15
1.49	8	23	4	1	12
1.53	8	23	1	8	12
4.4	21	62	1	17	46
7.46	16	48	7	6	40
7.83	16	48	7	4	34
8.15	21	62	16	17	37
8.54	21	62	16	15	48
8.81	21	62	16	13	23
10.47	37	110	10	3	105
11.2	31	93	7	3	88
12.115	61	183	13	12	116
13.32	19	56	1	2	55
14.6	37	111	10	11	74
16.67	29	87	13	1	47
16.73	29	87	13	2	60
18.97	54	162	10	13	82
19.36	21	62	1	6	42
20.48	13	37	1	13	35
20.70	13	37	1	11	20