

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

GUSTAVO HENRIQUE MORESCO

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA OPERACIONAL NA ATIVIDADE DE *PICKING* EM UMA
EMPRESA DE TUBOS E CONEXÕES

Joinville
2017

GUSTAVO HENRIQUE MORESCO

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA OPERACIONAL NA ATIVIDADE DE *PICKING* EM UMA
EMPRESA DE TUBOS E CONEXÕES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de graduação em Engenharia de Transportes e Logística, da Universidade Federal de Santa Catarina, Campus de Joinville, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel.

Orientadora: Dra. Eng. Vanina Macowski Durski Silva

Joinville
2017

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA OPERACIONAL NA ATIVIDADE DE *PICKING* EM UMA
EMPRESA DE TUBOS E CONEXÕES

GUSTAVO HENRIQUE MORESCO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de graduação em Engenharia de Transportes e Logística, da Universidade Federal de Santa Catarina, Campus de Joinville, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel.

Joinville, 29 de novembro de 2017.

Banca examinadora:

Professora Dra. Vanina Macowski Durski Silva
Orientadora

Professor Dr. Pablo Andretta Jaskowiak
Membro 1

Professora Dra. Silvia Lopes de Sena Taglialenha
Membro 2

AGRADECIMENTOS

A meus pais e irmão por todas as oportunidades, amor e incentivo em todos os momentos que precisei e por me ensinarem a ser a pessoa que sou hoje. Por estarem sempre presentes e dedicando seu tempo me auxiliando e motivando em busca dos meus sonhos e objetivos.

A minha namorada, Caroline Malheiros, que sempre esteve presente quando eu precisei, alegrando todos os meus dias com muito amor, carinho e dedicação. Por ser essa pessoa maravilhosa que sempre me motiva e anima quando as coisas não parecem bem.

A minha orientadora Vanina Macowski Durski Silva pelo suporte, apoio e orientação em todos os projetos que participamos durante o período acadêmico, principalmente neste trabalho.

A todos os demais professores do curso de Engenharia de Transportes e Logística que dedicaram seus ensinamentos e sempre estiveram presentes para auxiliar no que foi preciso.

A todos meus amigos e colegas que estiveram presentes durante os 5 anos universitários, demonstrando apoio e compartilhando momentos de alegria e descontração.

RESUMO

A crescente necessidade de manterem-se competitivas tem forçado empresas a controlarem e reduzirem seus custos ao máximo possível. Assim, inúmeras técnicas e estratégias foram desenvolvidas com o intuito de melhorar o balanço financeiro das companhias, abordando todas as áreas e atividades. Controle de estoque, estratégia de produção enxuta e otimização de processos internos são algumas das práticas que fazem parte da rotina de muitas empresas, abordando conceitos que englobam diferentes serviços. Além disso, a influência de um cenário econômico em crise se reflete na necessidade de redução de custos, readequação do nível de produção, entre outras medidas. Nesse contexto, o processo de gestão e controle de estoque das empresas tem se tornado elemento chave no balanço financeiro. Oportunidades que não eram consideradas acabam se tornando evidentes perante a necessidade de redução de custos. Desse modo, o presente trabalho visa avaliar a eficiência operacional da atividade de *picking* no Centro de Distribuição de uma empresa multinacional situada em Joinville - SC e apresentar propostas de melhorias nos processos e no *layout* do armazém, a fim de melhorar a eficiência operacional na atividade de *picking*. Utilizando ferramentas da Pesquisa Operacional, foi possível simular cenários do processo de separação de itens e compará-los de modo a identificar o mais produtivo. Os resultados demonstraram que foi possível reduzir em até 25% o tempo total de *picking* na empresa em estudo, reduzindo aproximadamente R\$9.677,00 por mês os custos da empresa nesta atividade, no melhor cenário encontrado no desenvolvimento do trabalho.

Palavras-chave: Gestão de estoques. Logística. Centro de Distribuição. *Picking*

ABSTRACT

The growing need to remain competitive has forced companies to control and reduce their costs to the maximum extent possible. Thus, numerous techniques and strategies have been developed to improve the financial balance of a company, covering all areas and activities. Inventory control, lean production strategy and internal process optimization are some of the practices that are part of the routine of many companies, approaching concepts that encompass different services. In addition, the influence of an economic scenario in crisis is reflected in the need to reduce costs, re-adjust the level of production, among other measures. In this context, the company's inventory management and control process has become a key element in the financial balance. Opportunities that were not considered end up becoming evident before the necessity of reducing costs. The aim of this work is to evaluate the operational efficiency of the picking activity in the warehouse of a multinational company located in Joinville, SC, and to present proposals for improvements in the processes and layout of the warehouse in order to improve the efficiency in the picking activity. Using Operational Research tools, it was possible to simulate scenarios of the process of picking and comparing them in order to define the most productive one. The results showed that it was possible to reduce the total picking time on the present company case by up to 25%, reducing approximately R\$9.677,00 per month the company's cost with this activity in the best scenario presented by the work.

Keywords: Inventory management. Logistics. Warehouse. Picking

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Etapas da metodologia	16
Figura 2 – Evolução da logística	19
Figura 3 – Atividades em um centro de distribuição	20
Figura 4 – Modelo e estrutura de um armazém	25
Figura 5 – Possíveis caminhos entre pontos de armazenagem em um CD	27
Figura 6 – Exemplo de rota do Caixeiro Viajante em um CD	30
Figura 7 – Rede de 6 nós conectados	32
Figura 8 – Exemplo de troca 2-opt	33
Figura 9 – Estrutura do centro de distribuição	34
Figura 10 – Mapa térmico da situação atual no CD da empresa	35
Figura 11 – Variações no cálculo da Distância de Manhattan	36
Figura 12 – Mapa térmico da situação proposta no CD da empresa	37
Figura 13 – Fluxograma da avaliação de desempenho	39
Figura 14 – Zonas de separação do CD	44

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Distâncias das rotas de coleta por ordem do cenário atual A	41
Gráfico 2 – Tempos de coleta por ordem do cenário atual A	42
Gráfico 3 – Escala de separação do cenário atual A	42
Gráfico 4 – Tempo inativo por separador do cenário atual A	43
Gráfico 5 – Distâncias das rotas de coleta por ordem do cenário atual B	45
Gráfico 6 – Tempos de coleta por ordem do cenário atual B	46
Gráfico 7 – Escala de separação do cenário atual B	46
Gráfico 8 – Tempo inativo por separador do cenário atual B	47
Gráfico 9 – Escala de separação do cenário atual B - após alteração	48
Gráfico 10 – Tempo inativo por separador do cenário atual B - após alteração . .	49
Gráfico 11 – Distâncias das rotas de coleta por ordem do cenário atual C	50
Gráfico 12 – Tempos de coleta por ordem do cenário atual C	50
Gráfico 13 – Escala de separação do cenário atual C	51
Gráfico 14 – Tempo inativo por separador do cenário atual C	51
Gráfico 15 – Distâncias das rotas de coleta por ordem do cenário atual D	53
Gráfico 16 – Tempos de coleta por ordem do cenário atual D	53
Gráfico 17 – Escala de separação do cenário atual D	54
Gráfico 18 – Tempo inativo por separador do cenário atual D	54
Gráfico 19 – Distâncias das rotas de coleta por ordem do cenário proposto A . .	55
Gráfico 20 – Tempos de coleta por ordem do cenário proposto A	56
Gráfico 21 – Escala de separação do cenário proposto A	56
Gráfico 22 – Tempo inativo por separador do cenário proposto A	57
Gráfico 23 – Distâncias das rotas de coleta por ordem do cenário proposto B . .	58
Gráfico 24 – Tempos de coleta por ordem do cenário proposto B	59
Gráfico 25 – Escala de separação do cenário proposto B	59
Gráfico 26 – Tempo inativo por separador do cenário proposto B	60
Gráfico 27 – Escala de separação do cenário proposto B - após alteração	61
Gráfico 28 – Tempo inativo por separador do cenário proposto B - após alteração	62
Gráfico 29 – Distâncias das rotas de coleta por ordem do cenário proposto C . .	63
Gráfico 30 – Tempos de coleta por ordem do cenário proposto C	63
Gráfico 31 – Escala de separação do cenário proposto C	64
Gráfico 32 – Tempo inativo por separador do cenário proposto C	64
Gráfico 33 – Distâncias das rotas de coleta por ordem do cenário proposto D . .	65
Gráfico 34 – Tempos de coleta por ordem do cenário proposto D	66
Gráfico 35 – Escala de separação do cenário proposto D	66
Gráfico 36 – Tempo inativo por separador do cenário proposto D	67

Gráfico 37 – Redução no tempo de coleta entre os cenários proposto A e atual A	68
Gráfico 38 – Redução na distância de coleta entre os cenários proposto A e atual A	69
Gráfico 39 – Redução no tempo de coleta entre os cenários atual B e proposto B	70
Gráfico 40 – Redução na distância média entre os cenários atual B e proposto B	71
Gráfico 41 – Redução no tempo de coleta entre os cenários atual C e proposto C	72
Gráfico 42 – Redução na distância de coleta C e proposto C	73
Gráfico 43 – Redução no tempo de coleta entre os cenários atual D e proposto D	74
Gráfico 44 – Redução na distância de coleta entre os cenários atual D e proposto D	74
Gráfico 45 – Comparação entre a distância total de coleta dos cenários	75
Gráfico 46 – Comparação entre o tempo total de coleta dos cenários	76
Gráfico 47 – Comparação entre o tempo inativo médio dos cenários	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Aplicações do vizinho mais próximo	31
Tabela 2 – Quantidade de itens por ordem de coleta	40
Tabela 3 – Tempo de coleta por separador do cenário atual A	43
Tabela 4 – Ordens de coleta do cenário atual B	45
Tabela 5 – Tempo de coleta por separador do cenário atual B	47
Tabela 6 – Tempo de coleta por separador do cenário atual B - após alteração	48
Tabela 7 – Ordens de coleta do cenário atual C	49
Tabela 8 – Tempo de coleta por separador do cenário atual C	52
Tabela 9 – Ordens de coleta do cenário atual D	52
Tabela 10 – Tempo de coleta por separador do cenário atual D	54
Tabela 11 – Ordens de coleta do cenário proposto A	55
Tabela 12 – Tempo de coleta por separador do cenário proposto A	57
Tabela 13 – Ordens de coleta do cenário proposto B	58
Tabela 14 – Tempo de coleta por separador do cenário proposto B	60
Tabela 15 – Tempo de coleta por separador do cenário proposto B - após alteração	61
Tabela 16 – Ordens de coleta do cenário proposto C	62
Tabela 17 – Tempo de coleta por separador do cenário proposto C	64
Tabela 18 – Ordens de coleta do cenário proposto D	65
Tabela 19 – Tempo de coleta por separador do cenário proposto D	67

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- CD** Centro de Distribuição
- KPI** *Key Performance Indicators*
- PCV** Problema do Caixeiro Viajante
- PO** Pesquisa Operacional
- SINE** Sistema Nacional de Empregos
- SKU** *Stock Keeping Units*
- TSP** *Travelling Salesman Problem*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Tema e problematização	13
1.2	Objetivos	15
1.2.1	<u>Objetivo geral</u>	15
1.2.2	<u>Objetivos específicos</u>	15
1.3	Método de pesquisa	15
1.4	Justificativas	16
1.5	Estrutura do trabalho	18
2	REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1	Logística em centros de distribuição	19
2.1.1	<u>Picking</u>	22
2.1.1.1	<u>Picking</u> discreto	22
2.1.1.2	<u>Picking</u> por zona	22
2.1.1.3	<u>Picking</u> por lote	23
2.1.1.4	<u>Picking</u> por onda	23
2.2	Performance de um centro de distribuição	24
2.3	Conceitos quantitativos de apoio logístico	26
2.3.1	<u>Distância de Manhattan</u>	26
2.3.2	<u>Problema da mochila</u>	28
2.3.3	<u>Problema do Caixeiro Viajante</u>	29
2.3.3.1	<u>Método do vizinho mais próximo</u>	31
2.3.3.2	<u>Trocas 2-opt</u>	32
3	ESTUDO DE CASO	34
3.1	Descrição da empresa	34
3.2	Problema de alocação dos itens	35
3.3	Modelo de avaliação de desempenho	37
3.3.1	<u>Construção da solução inicial</u>	38
3.3.2	<u>Melhoramento da rota por busca local</u>	38
3.4	Cenários de modelagem	40
3.4.1	<u>Cenário alocação de itens atual A - picking discreto</u>	40
3.4.2	<u>Cenário alocação de itens atual B - picking por zona</u>	43
3.4.3	<u>Cenário alocação de itens atual C - picking por lote</u>	49
3.4.4	<u>Cenário alocação de itens atual D - picking por onda</u>	52
3.4.5	<u>Cenário alocação de itens proposta A - picking discreto</u>	55

3.4.6	<u>Cenário alocação de itens proposta B - <i>picking</i> por zona</u>	57
3.4.7	<u>Cenário alocação de itens proposta C - <i>picking</i> por lote</u>	62
3.4.8	<u>Cenário alocação de itens proposta D - <i>picking</i> por onda</u>	65
4	ANÁLISE DE RESULTADOS	68
4.1	Análise do Cenário atual A x Cenário proposto A	68
4.2	Análise do Cenário atual B x Cenário proposto B	70
4.3	Análise do Cenário atual C x Cenário proposto C	71
4.4	Análise do Cenário atual D x Cenário proposto D	73
4.5	Avaliação geral entre todos cenários	75
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	78
5.1	Trabalhos futuros	79
	REFERÊNCIAS	80

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo apresentam-se o tema proposto para o trabalho, assim como os problemas que o envolvem. Além disso no primeiro capítulo descrevem-se os objetivos que o trabalho visa atingir e o método de pesquisa utilizado. Ainda são apresentadas as justificativas social, operacional, econômica e acadêmica que motivaram a realização deste estudo e, por fim, a estrutura do trabalho.

1.1 Tema e problematização

A crescente necessidade de se manter competitiva frente às concorrentes tem feito com que diversas empresas atentem cada vez mais para seus processos internos em busca de melhorar sua eficiência. Segundo Ballou (2006), as decisões tomadas pelas empresas podem afetar diretamente sua posição entre as concorrentes, alterando sua fatia no mercado e também seu lucro.

Nesse sentido, surge a importância do planejamento, controle e gestão dos estoques, a fim de minimizar as despesas de uma companhia e ampliar sua eficiência nesse determinado setor e em todas as atividades desenvolvidas ao longo da cadeia produtiva, como a separação de itens, no inglês *picking*, que é foco desse trabalho.

A gestão de estoques, na cadeia de suprimentos, conforme Simchi-Levi, Kaminsky e Simchi-Levi (2010), tem como objetivo ter o estoque certo no local certo para minimizar os custos do sistema ao mesmo tempo em que as necessidades dos clientes são satisfeitas. Dessa maneira, possuir a quantidade correta dos materiais e alocá-los de maneira que a produtividade da separação seja alta torna-se uma tarefa fundamental para a estratégia da empresa.

Alguns outros fatores são essenciais para que o controle de estoques e separação de itens sejam realizados da melhor maneira possível, como o conhecimento da demanda e alinhamento das estratégias da empresa. Para isso, é importante que todos os níveis de trabalho da companhia atuem em sintonia com foco durante os planejamentos estratégico, tático e operacional. Segundo Sipper e Bulfin (1997), essas três etapas possuem um relacionamento hierárquico, no sentido que cada fase precisa ser coordenada e executada em conjunto com as demais.

Conforme Slack, Chambers e Johnston (2009), o dilema do gerenciamento de estoques é que apesar dos custos e riscos de manter itens parados, eles facilitam a conformidade entre fornecimento e demanda.

Esse *trade-off* entre custos e facilidade de atendimento demonstra o quão importante essa etapa da cadeia de suprimentos é para uma empresa. A logística e a gestão da cadeia de suprimentos fornecem uma variedade de maneiras para aumentar a eficiência e a produtividade e, conseqüentemente, contribuir de modo significativo para a redução de custos (CHRISTOPHER, 2011).

Sendo assim, a gestão de um Centro de Distribuição (CD) tem se tornado um tema cada vez mais recorrente nos acompanhamentos e planejamentos de uma empresa. A análise de desempenho de seus trabalhadores e do processo de *picking* como um todo permite que medidas corretivas sejam tomadas a fim de melhorar o processo.

A gestão de um CD afeta diretamente a produtividade da cadeia de distribuição e é responsável por manter um nível de serviço adequado para manter o consumidor satisfeito. A entrega ideal esperada pelos clientes, comumente conhecida como "pedido perfeito", deve ser realizada no tempo esperado e contendo todos os produtos solicitados. Qualquer falha que ocorra no momento da expedição do produto pode afetar esse indicador fazendo com que a empresa não atenda as expectativas do seu consumidor.

Portanto, é importante que dentre as estratégias de metodologia de *picking* e processos internos existentes, a empresa utilize a que melhor se aplique a seu sistema, levando em consideração todas as necessidades da mesma para que se possa realizar o processo de separação com a qualidade e rapidez exigida. Uma maneira eficaz de modelar a alocação de um estoque e simular a eficiência do *picking* é por meio da Pesquisa Operacional (PO).

A PO tem como objetivo, por meio de métodos científicos, analisar e auxiliar nas decisões de diversas áreas como o militar, medicina, finanças, agricultura entre outros. Uma dessas áreas, abordada nesse trabalho, se refere à gestão de estoque. A PO pode ser aplicada a problemas que se referem à condução e coordenação das operações de uma organização (HILLIER; LIEBERMAN, 2013).

Conforme Arenales *et al.* (2007), a PO visa auxiliar no processo de tomada de decisões, como projetar, planejar e operar sistemas em casos que necessitam de alocação eficiente de recursos escassos. Essa ferramenta auxilia no processo de planejamento em todos os níveis da empresa, pois torna real a possibilidade de minimizar o tempo total gasto durante a separação utilizando modelos de simulação para verificar os resultados, sem que afetem o ritmo da atividade atual.

Dessa maneira, utilizando as ferramentas disponíveis na Pesquisa Operacional, torna-se mais fácil efetuar o planejamento e controle da operação interna em um centro de distribuição, podendo prever possíveis problemas operacionais e efetuando a correção antes que cause impacto na eficiência operacional da empresa.

1.2 Objetivos

Neste tópico serão apresentados os objetivos geral e específicos que o trabalho visa alcançar.

1.2.1 Objetivo geral

Analisar os diferentes métodos de separação de itens em um centro de distribuição a fim de minimizar o tempo gasto, a distância percorrida e o tempo ocioso médio por funcionário durante a atividade.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos apresentados a seguir serão utilizados para se atingir o objetivo geral:

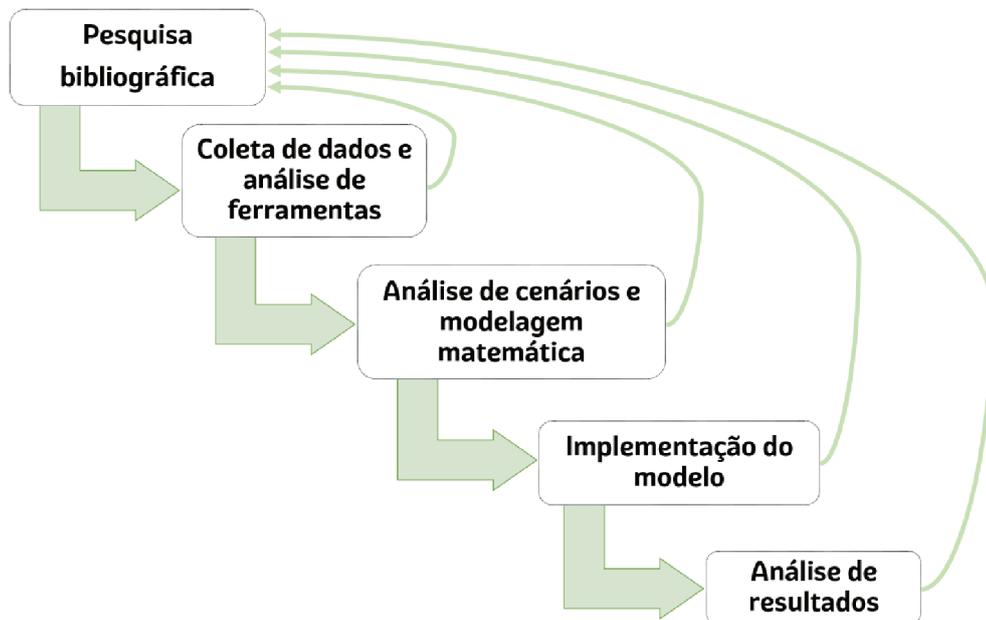
- Realizar um levantamento bibliográfico referente aos modelos de separação de itens em um armazém;
- Efetuar pesquisa bibliográfica sobre modelos de alocação de produtos em centros de distribuição;
- Avaliar as distâncias entre cada célula do Centro de Distribuição em estudo;
- Estimar a demanda de cada produto considerado no problema em estudo;
- Elaborar um modelo matemático capaz de minimizar a distância percorrida na coleta dos itens;
- Comparar as diferentes metodologias de separação de itens e seus respectivos resultados.

1.3 Método de pesquisa

O presente trabalho utiliza os métodos de pesquisa exploratório e bibliográfico. Conforme Gerhardt e Silveira (2009), a coleta de informações de modo exploratório pode ser feita através de entrevistas, observações ou da busca de informações em documentos, entre outros. Essa conduta se deve a fim de desenvolver hipóteses e proposições pertinentes para uma posterior análise (YIN, 2015).

Além disso, outro método abordado se refere à pesquisa bibliográfica, que segundo Lima e Mioto (2007, pg. 41), "[...] a leitura apresenta-se como a principal técnica, pois é através dela que se pode identificar as informações e os dados contidos no material selecionado, bem como verificar as relações existentes entre eles de modo a analisar a sua consistência".

Figura 1 – Etapas da metodologia



Fonte: Autoria própria.

Conforme mostra a Figura 1, a primeira etapa refere-se à pesquisa bibliográfica, onde foram investigados diversos livros que tratam do assunto e artigos por meio virtual, utilizando portais como o Periódico da Capes, além de teses e dissertações.

A coleta de dados foi realizada em visitas à empresa e acompanhamento do processo interno. Então, a partir dos dados observados foi possível identificar ferramentas, apresentadas na Seção 2.3, que possibilitem a realização do estudo.

A próxima etapa refere-se à geração de cenários e à modelagem matemática a fim de avaliar o desempenho na atividade de separação nesses diferentes cenários. Após implementar os modelos, os resultados são apresentados, assim como as considerações finais.

1.4 Justificativas

A logística representa uma orientação e uma estrutura de planejamento que visam criar um plano único para o fluxo de produtos e informações por meio de um negócio (CHRISTOPHER, 2011). Quando aplicada com as ferramentas corretas, as atividades logísticas possuem potencial enorme de melhoria no desempenho dos processos internos.

Cada vez mais as empresas buscam formas para facilitar o gerenciamento operacional, aumentando o controle, reduzindo os custos e obtendo informações precisas que auxiliam no processo ágil de tomada de decisões, com o intuito de

melhorar o nível de serviço prestado (BARROS, 2005).

Diante disso, destaca-se a importância operacional de um estudo que verifique as possíveis atividades em um centro de distribuição e a eficiência de cada método aplicado. Ballou (2006) afirma que as atividades desenvolvidas no centro de distribuição, como armazenagem e manuseio de materiais, possuem grande importância para uma empresa pelo fato de terem influência sobre o tempo necessário ao processamento de pedidos dos clientes no canal de suprimentos.

Por afetar diretamente a expectativa do cliente, o processo logístico de distribuição de materiais torna-se um importante elo entre a empresa e seus consumidores, servindo como vantagem competitiva frente aos demais concorrentes.

Segundo Brynzér e Johansson (1996), ao abordar a atividade de separação de produtos, as características dos materiais, como frequência, número de peças, peso e volume, são frequentemente usadas para a tomada de decisões como a alocação de produtos.

Portanto, destaca-se que é necessário aplicar os conceitos apresentados e verificar o ramo de produção de cada empresa, podendo haver divergências entre os métodos mais eficientes para cada companhia. O estudo de caso apresentado nesse trabalho aplica os conceitos em uma empresa de tubos e conexões, onde os materiais possuem baixo peso e volume intermediário.

Além disso, é importante frisar a importância acadêmica do assunto, pois o presente trabalho também visa analisar as ferramentas e abordagens disponíveis na literatura para planejar a disposição do estoque e a atividade de separação em empresas que pretendem melhorar sua produtividade, alterando a alocação dos materiais armazenados no Centro de Distribuição e testando diversos tipos de *picking*. É válido também destacar utilização da simulação e otimização por meio da PO, amplamente utilizada no estudo de Transportes, nas decisões logísticas do cotidiano de uma empresa. Estudos provenientes deste trabalho já estão sendo discutidos e serão implementados pela empresa onde foi realizado o estudo de caso.

De acordo com Pan e Wu (2009), parte majoritária dos estudos realizados na área ao longo das últimas décadas, tem como foco principal o desenvolvimento de modelos que reduzam a distância total percorrida ou o tempo total utilizado para o processo, rotas de *picking* e políticas de separação de ordens, e esses servirão de suporte para o trabalho. A melhoria dos processos de separação e expedição têm impacto direto nas contas de uma empresa, visto que a produtividade do *picking* aumenta quanto o cliente está disposto a pagar pelo produto desejado, devido a redução no prazo de atendimento.

Dessa maneira, destaca-se, também, a importância econômica do estudo, pois conforme Wanke (2011), a gestão de estoques em ambientes complexos, como as cadeias de suprimentos compostas por diversos estágios, não é um processo trivial,

podendo acarretar em impactos negativos nos níveis de serviço ao cliente e nos custos totais.

A grande relevância da gestão de estoques nos custos de uma empresa faz com que essa atividade venha ganhando cada vez mais atenção. A oportunidade de destacar-se frente aos concorrentes exige um processo mais eficiente e que reduza os custos operacionais da companhia. Segundo Christopher (2011), a fonte de vantagem competitiva, em primeiro lugar, é destacar-se aos olhos do cliente e de seus concorrentes e em segundo lugar, operando a um custo mais baixo e, conseqüentemente, obtendo mais lucro.

1.5 Estrutura do trabalho

O presente trabalho apresenta-se dividido em cinco seções principais, que além desta primeira introdutória, é composta pela seção dois, Referencial Teórico, em que são levantadas informações referentes ao tema em estudo, como a importância da Logística, Pesquisa Operacional e controle e gestão de estoque. Na seção três é apresentada a empresa em estudo, cujos processos serão mapeados para a realização do estudo de caso. A quarta seção apresenta o modelo matemático que será utilizado e a descrição de cada etapa de sua formulação. Por final, na quinta e última seção do trabalho são apresentados os resultados e conclusões obtidas após a resolução do modelo matemático, assim como sugestões para trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

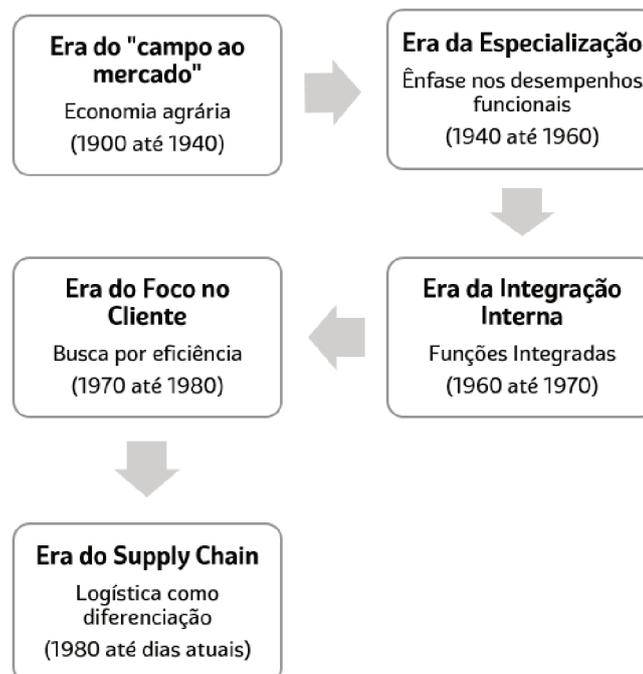
Este capítulo visa abordar conceitos que são relevantes para o entendimento do tema, assim como definições de modelos que serão úteis para a resolução dos problemas propostos.

2.1 Logística em centros de distribuição

A logística tem se consolidado como uma área essencial para a redução de custos para as empresas perante o cenário econômico atual. Revisões de processos e redução de desperdícios são algumas das medidas abordadas para auxiliar essa área fundamental para o desempenho da indústria.

A importância das revisões de processos tem se destacado ao passar dos anos, conforme a necessidade do mercado dita o foco da visão logística. A Figura 2 representa a evolução da logística ao longo do tempo.

Figura 2 – Evolução da logística

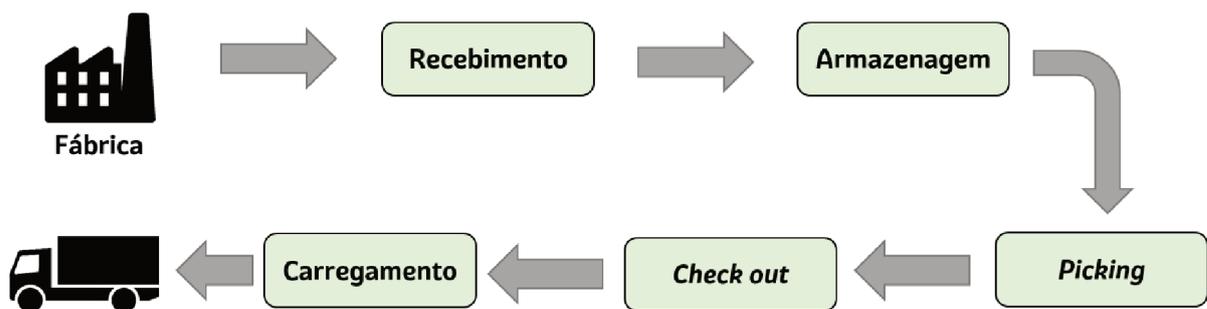


Fonte: Adaptado de Figueiredo e Arkader (1998).

Como é possível perceber na Figura 2 as eras da logística sofrem alterações perante as novas tecnologias que surgem e a imprescindibilidade de adequar-se às exigências dos clientes. Segundo Figueiredo e Arkader (1998), atualmente a logística precisa preocupar-se com as interfaces entre as diversas funções dentro de uma empresa, compondo maior destaque nas considerações do mais alto nível de planejamento estratégico das corporações.

Conforme Oliveira (2010), além de ser um instrumento administrativo facilitador e otimizador das interações da empresa com os fatores externos a ela, as estratégias também tem forte influência sobre os fatores internos da empresa. Desse modo destaca-se a necessidade de incluir a logística no planejamento estratégico de uma empresa, visando a oportunidade de redução de custos em seus processos antes da expedição do produto.

Figura 3 – Atividades em um centro de distribuição



Fonte: Autoria própria.

Conforme a Figura 3, dentro de um centro de distribuição são realizadas diversas atividades que serão abordadas a seguir:

- **Recebimento:** Essa atividade refere-se ao início do processo operacional de um CD. Durante essa etapa são recebidos os materiais prontos vindos da fábrica ou redirecionados de algum outro centro a fim de colocá-los no armazém. Nesse momento são conferidos os materiais a fim de verificar se a qualidade e quantidade recebida está de acordo. De acordo com Barros (2005), qualquer diferença entre o solicitado e o entregue deve ser sinalizada neste momento, antes de os produtos entrarem propriamente no CD.

Esse processo é muito importante, visto que qualquer falha pode acarretar em perda de produtividade do centro de distribuição acarretando em um faturamento menor que o planejado. Além disso, caso não seja alertado diferença entre as quantidades ou falha na qualidade do produto, o atendimento do pedido completo realizado pelo cliente torna-se falho, afetando o nível de serviço.

- **Armazenagem:** A atividade de armazenagem refere-se à alocação dos produtos em posições determinadas visando o aumento da produtividade do CD. Deve-se realizar um planejamento onde são determinadas as posições de cada material de acordo com suas características como peso, volume e demanda, a fim de facilitar a atividade de *picking* e elevar ao máximo a eficiência operacional do CD. Segundo Gu, Goetschalckx e McGinnis (2007), três decisões são fundamentais na tomada de decisões em relação a armazenagem: a quantidade de estoque que deve ser mantido de determinado SKU (*Stock Keeping Units* - em português, Unidades de Armazenagem em Estoque), quão frequente deve ser realizado o reabastecimento de cada SKU e, por fim, onde cada SKU deve ser armazenado. Dependendo das características dos materiais e do CD, os produtos podem ser armazenados em porta paletes, empilhados, em caixas ou até mesmo a granel (devido ao tamanho elevado do produto).

- **Picking:** A atividade de *picking* inicia o processo de entrega ao cliente. É durante esse processo que, a partir de uma ordem de coleta, são selecionados os materiais desejados pelo cliente para compor a entrega. De acordo com Silva *et al.* (2015), *picking* é a atividade na qual os produtos são retirados de locais específicos no armazém.

Essa atividade possui grande importância para o processo de expedição dos produtos, pois durante o *picking* podem ocorrer erros na separação de materiais, e a baixa eficiência durante esse procedimento pode ocasionar atrasos nos demais processos que seguem a cadeia.

Segundo Giustina (2013), o processo de coleta é geralmente o mais trabalhoso do armazém e desta forma tem um elevado impacto no custo do CD. Além disso, o uso intensivo de mão-de-obra que caracteriza a separação de produtos torna essa atividade um alvo natural para a busca de melhorias de produtividade (BALLOU, 2006).

Dessa maneira, essa atividade será foco de análise do trabalho, aplicando diferentes metodologias de separação no estudo de caso a fim de comparar os métodos de trabalho. Devido a essa importância da atividade para o trabalho, o assunto será abordado com maior profundidade na seção 2.1.1.

- **Check out:** Após os pedidos serem separados no processo de *picking*, passam por uma vistoria a fim de verificar se houve divergência entre o que consta na ordem de coleta e o realizado. Essa atividade visa verificar e minimizar os erros de separação.

Após a validação dos itens, é necessário agrupá-los de acordo com o pedido do cliente, e dependendo das características dos materiais, consolidá-los em uma

nova embalagem a fim de facilitar o manuseio de materiais no momento da carga e descarga.

- **Carregamento:** A última atividade desenvolvida pelo CD refere-se ao carregamento. Nessa etapa, os materiais que passaram por todas as atividades citadas anteriormente estão consolidadas e irão seguir para seu destino final.

A alocação dos produtos no veículo depende da natureza do transporte. No caso de distribuição, os produtos devem ser armazenados de maneira a facilitar a descarga durante as entregas, ou seja, posicionar os materiais seguindo a ordem de entrega. Após o término do carregamento, a documentação deve ser preparada para emissão de notas e liberação do veículo.

2.1.1 Picking

Conforme mencionado anteriormente, a atividade de *picking* possui grande importância para um CD, visto a mão de obra utilizada e o tempo gasto para a realização dessa atividade.

Dessa maneira, surgem diversas possibilidades de idealizar essa atividade, podendo variar conforme a distribuição das prateleiras/porta-paletes no armazém, quantidade de funcionários além das especificações dos produtos.

As estratégias de *picking* visam melhorar a eficiência operacional do processo, minimizando o tempo total gasto para a realização da atividade. A seguir são apresentadas algumas estratégias encontradas na literatura e que serão simuladas para o estudo de caso.

2.1.1.1 *Picking* discreto

Essa estratégia é a mais utilizada devido a sua simplicidade. Nela, cada separador é responsável por uma ordem de coleta, percorrendo, se necessário, todo o centro de distribuição coletando cada item da ordem.

De acordo com Silva *et al.* (2015), a principal vantagem dessa metodologia refere-se ao fato de que a integridade do pedido nunca é prejudicada, reduzindo a propensão a erros por abordar uma ordem de coleta por vez.

Porém, destaca-se que o procedimento é o menos produtivo, visto que os funcionários podem percorrer grandes distâncias dentro do armazém, resultando em tempo improdutivo.

2.1.1.2 *Picking* por zona

A metodologia de *picking* por zona tem como principal objetivo dividir o centro de distribuição em zonas de produtos e atribuir aos funcionários uma zona específica

de coleta.

Dessa maneira, cada funcionário será responsável pelos produtos da ordem de coleta que estejam contidos nas suas zonas de atuação. Após a separação dos materiais, eles são agrupados em uma área para continuação do processo.

A principal vantagem do método é a economia de tempo, ou distância percorrida, por cada trabalhador, visto que esses estão destinados a zonas de atendimento reduzidas além da familiaridade do separador com uma gama reduzida de produtos.

Por outro lado, como desvantagem, destaca-se o maior risco de erros de consolidação dos materiais, além de, caso haja desbalanço na eficiência produtiva dos funcionários, pode haver acúmulo de material à espera da consolidação da ordem.

2.1.1.3 *Picking* por lote

Essa metodologia tem grande foco em produtividade visto que um separador deve acumular diversos pedidos para então passar a coletá-los. Dessa maneira, o funcionário coletará a quantidade total de itens e então eles serão separados para cada pedido.

Por trabalhar com diversos pedidos de coleta, esse método possui maior produtividade em relação aos demais. Conforme afirma PETERSEN (2000), *picking* por lote geralmente resulta em menor tempo de deslocamento por item.

Contudo, esse método aplica-se basicamente a produtos que são coletados em quantidades fracionadas. Essa metodologia possibilita alta produtividade quando os pedidos possuem pouca variedade de itens (até quatro) e são pequenos em termos de volume (SILVA *et al.*, 2015).

2.1.1.4 *Picking* por onda

O último método a ser apresentado possui grade semelhança ao *picking* discreto, pois cada operador é responsável por um determinado produto. Os pedidos são agrupados por um período de tempo e a quantidade é somada para que o separador colete a quantidade total dos materiais.

Segundo PETERSEN (2000), as ondas, normalmente, possuem duração de 30 minutos até 2 horas. Ainda segundo o autor, cada operador realiza a separação continuamente durante o período da onda, parando somente para descarregar o suporte coletor quando está cheio.

Porém, essa metodologia não é recomendada quando o prazo de entrega é curto, visto que é necessário acumular certa quantidade de pedidos para que o processo se inicie.

2.2 Performance de um centro de distribuição

A necessidade de redução de custos tem levado as empresas a buscarem melhorias em todos seus processos. Dessa maneira, surge a importância da melhoria da performance de um centro de distribuição, a fim de otimizar o processo na separação e expedição de materiais.

O centro de distribuição concentra uma série de atividades fundamentais para o desempenho da entrega ao cliente por uma empresa e a oportunidade de otimizar essas tarefas abre espaço para grandes reduções de custo, afetando a margem de lucro do produto.

Conforme Tompkins *et al.* (1996 *apud* LAI; XUE; ZHANG, 2002), a operação em CDs representa parte majoritária da operação de manuseio de materiais na manufatura, podendo variar entre 15% a 70% do custo de manufatura de um produto. Dessa maneira, surge a importância de adequar os processos logísticos a fim de obter maior eficiência operacional.

A melhoria da performance de um centro de distribuição passa pela revisão de seus processos e atividades visando ampliar a produtividade das equipes de *picking* e *checkout*, por exemplo. Esses dois processos têm grande importância na atividade de expedição, porém as demais atividades desenvolvidas em um armazém também merecem acompanhamento e constante avaliação de desempenho.

Todas as atividades, a partir do recebimento, podem influenciar diretamente na performance produtiva de um centro de distribuição. Dessa maneira, manter um nível de serviço elevado é dever dos gestores, a fim de manter controle sobre o desempenho produtivo da companhia.

Para manter controle sobre as atividades desenvolvidas utilizam-se indicadores que monitoram a performance dos processos internos. Diversas empresas utilizam indicadores de desempenho (KPI - *Key Performance Indicators*), que identificam oportunidades e desafios em suas cadeias de suprimentos (SIMCHI-LEVI; KAMINSKY; SIMCHI-LEVI, 2010).

Esses indicadores são acompanhados periodicamente e, segundo Hedler (2015), os resultados são usados pelos gestores para verificar a evolução da performance ao longo do tempo e tomar ações a fim de obter melhores resultados. Ainda segundo a autora, os seguintes indicadores são utilizados para o acompanhamento das atividades de *picking*:

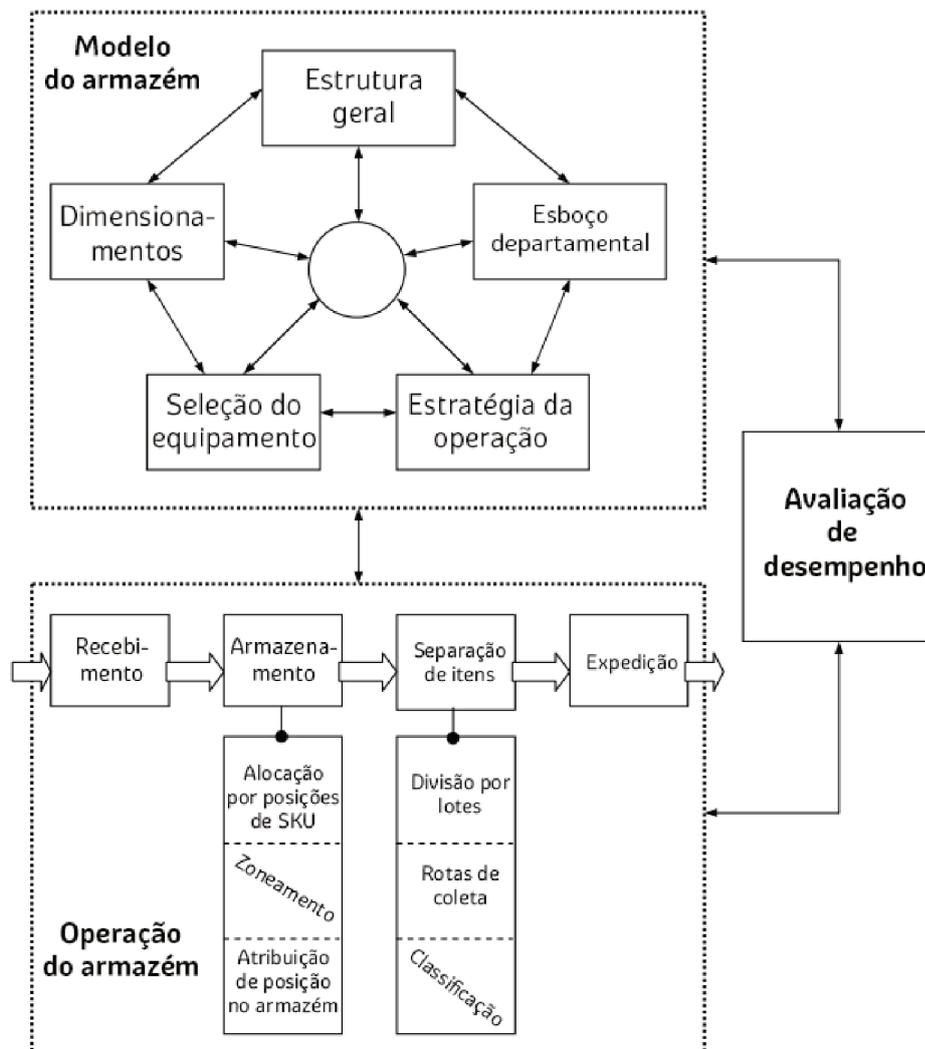
- **Tempo de separação da ordem:** indicador que monitora o tempo médio para a separação dos itens que contém uma ordem. O cálculo do indicador pode variar conforme a diversidade de ordens de coleta da empresa.
- **Precisão da separação:** indicador que verifica a acuracidade da separação, ou

seja, mede quanto do que estava na ordem de coleta foi atendido a fim de não quebrar o pedido do cliente e evitar re-trabalho na separação.

- **Produtividade da separação:** esse indicador mede a eficiência da atividade de separação. Pode ser medido individualmente, por grupo ou como um todo, dependendo dos objetivos desejados.

A avaliação de desempenho dos processos operacionais dos CDs torna-se uma atividade complexa devido ao número de atividades presentes no cotidiano. As principais funções na operação e estrutura de um armazém são apresentados na Figura 4.

Figura 4 – Modelo e estrutura de um armazém



Fonte: Adaptado de Gu, Goetschalckx e McGinnis (2007).

Observa-se na Figura 4, inúmeras atividades, abordadas na seção 2.1, que são desempenhadas em um armazém onde a performance deve ser constantemente avaliada a fim de manter um nível de serviço elevado.

Entre uma dessas atividades está a separação de itens. Conforme PETERSEN (2000), a separação de pedidos, ou seja, a consolidação de itens para compor a ordem de compra de um cliente, é um componente essencial na cadeia de fornecimentos.

Além disso, conforme Koster e Poort (1998 *apud* CHEN *et al.*, 2016), dentre as inúmeras atividades desempenhadas em um centro de distribuição, a separação de pedidos, ao longo do tempo, tem se mostrado como uma das atividades que requer elevada mão-de-obra e investimento, podendo chegar até a 60% dos trabalhadores de um CD.

Dessa maneira, surge a importância e necessidade de adequar os processos logísticos envolvidos em um centro de distribuição, principalmente a separação de itens, a fim de elevar a eficiência e qualidade dessas atividades.

2.3 Conceitos quantitativos de apoio logístico

No período da Segunda Guerra Mundial, visando o uso adequado de recursos militares, adotou-se uma estratégia de estudos que ficou conhecida como Pesquisa Operacional. Conforme Arenales *et al.* (2007), como consta no periódico inglês *Operational Research Quarterly* em 1967, a PO consiste no desenvolvimento de métodos científicos de sistemas complexos, com o objetivo de prever e comparar no desenvolvimento de decisões alternativas.

Esse conceito é muito útil na otimização de processos logísticos dentro de uma organização, devido a possibilidade de simular os procedimentos e verificar alterações e os resultados obtidos sem afetar o processo real.

Segundo Hillier e Lieberman (2013), a PO contribui significativamente para o aumento da produtividade da economia de diversos países. Ainda segundo os autores, uma característica interessante da Pesquisa Operacional é seu ponto de vista abrangente, adotando uma visão organizacional do problema a ser resolvido, dessa maneira, tentando solucionar os conflitos de interesses entre as áreas, de modo que o resultado final seja a melhor solução para a organização.

2.3.1 Distância de Manhattan

A necessidade de obter uma matriz de distâncias entre todos os pontos de um CD faz com que sejam necessários conceitos que dão suporte ao cálculo. Um importante conceito que automatiza essa etapa é conhecida como Distância de Manhattan. Essa técnica consiste na avaliação das coordenadas de dois pontos e a partir delas,

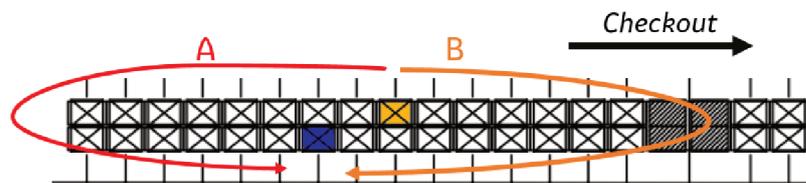
realiza-se o cálculo do afastamento. É possível calcular a Distância de Manhattan entre dois pontos pelo seguinte equacionamento:

$$D_{i,j} = |x_i - x_j| + |y_i - y_j| \quad (2.1)$$

Como é possível perceber na Equação (2.1), a distância entre os pontos i e j é calculada pelo módulo da diferença das coordenadas x somando o módulo da diferença das coordenadas y .

Porém, essa metodologia não pode ser aplicada para todas as situações, visto que leva-se em consideração somente as coordenadas dos dois pontos em estudo. Em um centro de distribuição, dois pontos de armazenagem de produtos podem estar próximos de acordo com suas coordenadas, porém, de lados opostos em prateleiras, sendo necessário contornar a prateleira ou porta-palete do armazém. Desse modo, o cálculo da distância deve considerar o contorno que precisa ser realizado, como mostra a Figura 5.

Figura 5 – Possíveis caminhos entre pontos de armazenagem em um CD



Fonte: Autoria própria.

Como é possível perceber na Figura 5, o caminho entre os pontos amarelo e azul pode ser percorrido de duas maneiras, realizando o contorno da parede que os separa. Embora os pontos estejam próximos, de acordo com suas coordenadas, é necessário realizar o caminho A ou B, destacados na imagem, para que se desloque de um ponto a outro. Essa situação é comum na realidade, inclusive no estudo de caso abordado nesse trabalho, e por isso será utilizado.

Diante disso, a formulação utilizada pelo método pode sofrer variações que serão abordadas na seção 3 deste trabalho. Porém, esse conceito é muito útil no cálculo de distâncias em armazéns, onde não é possível utilizar ferramentas de mapeamento geográfico *online*.

Assim, com a matriz de distância gerada, é possível definir a alocação ideal de produtos no armazém, considerando a demanda dos itens e a distância entre todos os possíveis pontos dentro do centro de distribuição.

2.3.2 Problema da mochila

A fim de identificar a alocação de produtos que minimize a distância total percorrida, é possível usar formulações matemáticas como a metodologia do problema da mochila, do inglês *knapsack problem*.

O problema original tem como objetivo selecionar quantos e quais itens, dentro de uma determinada lista, serão alocados dentro de uma mochila. Para isso é necessário obter um valor e um peso para cada item, além de determinar a capacidade máxima da mochila.

Kolhe e Christensen (2010) definem o problema em um modelo matemático que busca maximizar o lucro dos itens que serão carregados na mochila sem que ultrapasse sua capacidade. Segundo os autores, o item j possui um lucro p_j e um peso w_j e a capacidade do problema da mochila é representada por c . O modelo proposto pelos autores é formulado da seguinte maneira:

$$\max \sum_{j=1}^n p_j x_j \quad (2.2)$$

sujeito à:

$$\sum_{j=1}^n w_j x_j \leq c \quad (2.3)$$

$$x_j \in \{0, 1\}, j = 1, \dots, n. \quad (2.4)$$

onde:

$$x_j = \begin{cases} 1, & \text{se o item } j \text{ é carregado} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (2.5)$$

A primeira restrição, Equação (2.3), representa o limite da capacidade da mochila sendo que a variável x_j pode assumir, somente, os valores de 1 caso o item seja incluído na mochila e 0 caso contrário, como mostra a restrição 2.4.

Para a finalidade do presente problema em estudo, como contribuição acadêmica, o modelo matemático será ajustado para um problema de minimização onde $p_{i,j}$ representa o peso que será considerado se o produto i for alocado na posição j . Esse peso consiste na multiplicação da demanda do item i e a distância da posição j até o ponto de *checkout*. O modelo matemático é apresentado a seguir:

$$\min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n p_{i,j} x_{i,j} \quad (2.6)$$

sujeito à:

$$\sum_{i=1}^n x_{i,j} = 1 \quad \forall \quad j = 1, \dots, n. \quad (2.7)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{i,j} = 1 \quad \forall \quad i = 1, \dots, n. \quad (2.8)$$

$$x_{i,j} \in \{0, 1\}, \quad i, j = 1, \dots, n. \quad (2.9)$$

onde:

$$x_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{se o item } i \text{ é alocado na posição } j \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (2.10)$$

O problema possui uma variável binária que pode assumir os valores de 1, caso o produto i seja alocado na posição j e 0, caso contrário. A Restrição (2.7) garante que toda posição j poderá receber somente um item. Da mesma forma, a Equação (2.8) garante que todo item i poderá ser alocado somente a uma posição j . A Restrição (2.9) identifica a variável binária que só pode assumir valores de 1 se o item i for alocado na posição j e 0 caso contrário.

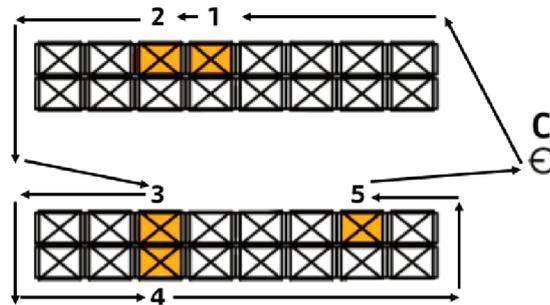
2.3.3 Problema do Caixeiro Viajante

O Problema do Caixeiro Viajante (PCV) - do inglês *Travelling Salesman Problem* (TSP) - é um problema de programação que visa determinar um caminho com custo mínimo em uma rede tendo percorrido todos os vértices que nela constam e retornando ao vértice inicial. Segundo Hillier e Lieberman (2013), o problema é denominado de Caixeiro Viajante pois representa a atividade de um vendedor que deseja determinar uma rota de atendimento entre as cidades que ele deve visitar, tendo como objetivo minimizar a distância total percorrida pelo vendedor.

Conforme Dantzig, Fulkerson e Johnson (1959), dado um conjunto de cidades e a distância entre cada par destas, o PCV visa encontrar o caminho mais curto para visitar todas as cidades retornando para o mesmo ponto de saída. Este é um dos problemas combinatórios mais conhecidos e pesquisados devido à sua aplicação em diversas áreas como manufatura de circuitos, programação da produção, telecomunicações, sequenciamento de DNA entre outros (ARENALES *et al.*, 2007).

Durante a atividade de *picking*, são realizadas inúmeras rotas do Caixeiro Viajante. O trabalhador que inicia sua rota no *checkout* (onde toma conhecimento sobre os materiais a serem coletados), deve percorrer todas os pontos de armazenagem com itens que contém no pedido, retornando para o ponto de origem.

Figura 6 – Exemplo de rota do Caixeiro Viajante em um CD



Fonte: Autoria própria.

Como é possível visualizar na Figura 6, a rota inicia-se no ponto *C* (*checkout*), percorre todas as posições que contém itens do pedido, as quais estão destacadas em amarelo, para, ao final da rota, retornar ao ponto inicial. Além disso, o PCV determina um sequenciamento da coleta, a fim de minimizar a distância total percorrida no CD.

Devido a dificuldade de resolução do problema, Calado e Ladeira (2011) comentam que o PCV como NP-difícil, ou seja, problemas que possuem grande complexidade na resolução, geralmente fatorial ou exponencial. Ainda segundo os autores, para um número considerável de exemplos, não existe recurso computacional para resolvê-los de maneira exata em tempo hábil.

O problema possui diversas metodologias de soluções entre exatas e heurísticas. Os métodos exatos possuem pouca utilização devido a dificuldade de resolução do problema quando é necessário visitar muitos nós. As abordagens exatas consideram o modelo 2.12 a 2.16, em que se definem as variáveis,

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se o caixeiro visita } j \text{ imediatamente após } i, \text{ sendo } i \neq j \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (2.11)$$

O modelo, definido por Dantzig, Fulkerson e Johnson (1954 *apud* GOLDBARG; LUNA, 2005), onde n representa o número de nós e N o conjunto de todos os nós, é:

$$\min \quad Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{i,j} \quad (2.12)$$

sujeito à:

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad \forall \quad j \in N \quad (2.13)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad \forall \quad i \in N \quad (2.14)$$

$$\sum_{i,j \in S} x_{ij} \leq |S| - 1 \quad \forall \quad S \subset N \quad (2.15)$$

$$x_{i,j} \in \{0, 1\} \quad \forall \quad i, j \in N \quad (2.16)$$

As restrições 2.13 e 2.14 representam que as arestas devem possuir apenas um nó de chegada e um de destino. Sendo S um subgrafo que contenha parte dos nós e arcos do problema geral e $|S|$ o número de vértices contidos neste subgrafo, a restrição 2.15 representa a eliminação de sub-circuitos, ou seja, impede que sejam formadas sub-rotas durante a otimização. Para maiores informações sobre o modelo matemático, consultar Goldberg e Luna (2005).

2.3.3.1 Método do vizinho mais próximo

O método do vizinho mais próximo, do inglês *nearest neighbor searching*, é um método heurístico que tem como objetivo apresentar uma rota considerando o menor caminho possível segundo a metodologia de resolução do problema.

De acordo com Arya *et al.* (1998), o método pode ser definido por um conjunto S de n pontos a visitar em um espaço X . O objetivo do problema é, a partir de um ponto inicial, selecionar o ponto mais próximo até que todos os pontos do conjunto S sejam visitados. Ainda segundo o autor, essa metodologia pode ser aplicada em diversas áreas conforme a tabela 1.

Tabela 1 – Aplicações do vizinho mais próximo

Reconhecimento de padrão e classificação	Cover e Hart (1967); Duda e Hart (1973)
Estatística	Devroye e Wagner (1982)
Recuperação de documentos	Deerwester <i>et al.</i> (1990)
Aprendizado automático	Cost e Salzberg (1993)
Base de dados multimídia	Flickner <i>et al.</i> (1995)
Extração de conhecimento e mineração de dados	Fayyad <i>et al.</i> (1996)
Compactação de dados	Gersho e Gray (2012)

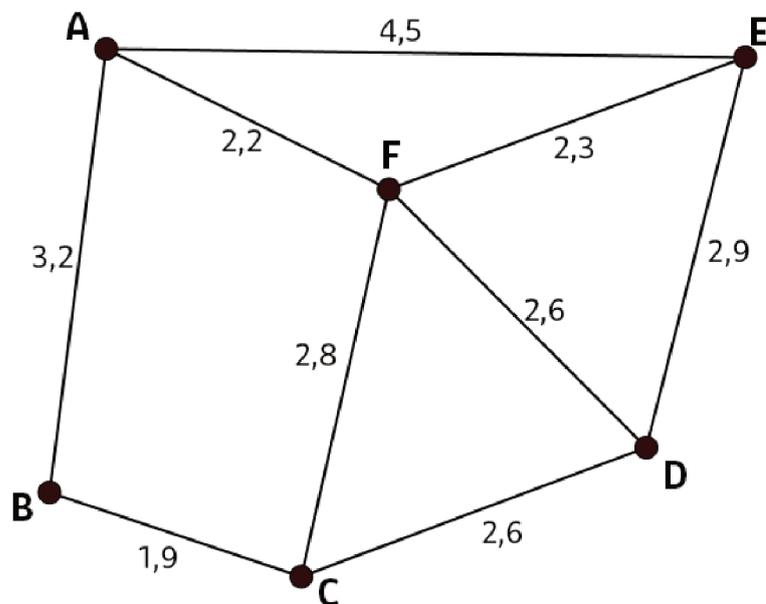
O método do vizinho mais próximo, a fim de gerar um caminho mínimo para o TSP, foi descrito por Rosenkrantz, Stearns e Lewis (1977), através das etapas:

1. Selecionar um nó arbitrário como início do caminho.

2. Encontre o nó, que ainda não pertence ao caminho, que seja o mais próximo ao último nó adicionado e insira-o no caminho.
3. Quando todos os nós estiverem conectados, adicionar uma aresta que ligue o último e o primeiro nó, fechando um ciclo.

Esse método pode ser aplicado variando o ponto inicial a fim de obter diversos resultados. Porém, como este é um método heurístico, não garante-se que o resultado obtido seja o caminho ótimo. Além disso, quando aplicado ao PCV, o ponto inicial deve ser o ponto de partida do caixeiro, sem variação. A Figura 7 ilustra um exemplo onde pode ser aplicado o vizinho mais próximo.

Figura 7 – Rede de 6 nós conectados



Fonte: Autoria própria.

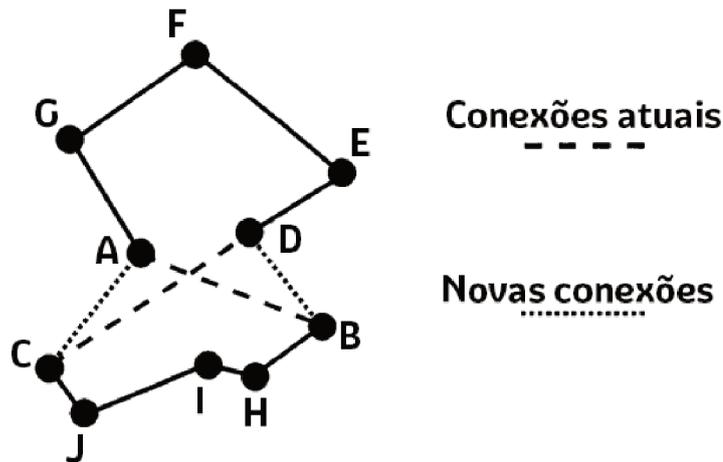
Tendo como ponto de partida do caixeiro o ponto A, a rota gerada pelo algoritmo do vizinho mais próximo tem como resultado o caminho {A, F, E, D, C, B, A}, percorrendo uma distância de 15,1 unidades de distância.

2.3.3.2 Trocas 2-opt

O método heurístico de trocas 2-opt tem por objetivo, a partir de um caminho inicial, pré-definido, realizar alterações a fim de melhorar o caminho. De acordo com Engels e Manthey (2009), o método aperfeiçoa um caminho inicial realizando a troca de duas arestas deste caminho por duas outras arestas até que o critério de parada estabelecido no modelo seja atingido..

Englert, Röglin e Vöcking (2007) descrevem o processo por selecionar duas arestas $\{u_1, u_2\}$ e $\{v_1, v_2\}$ do caminho atual sendo que u_1, u_2, v_1 e v_2 devem ser pontos distintos e aparecer nessa ordem no caminho. O algoritmo troca essas arestas por $\{u_1, v_1\}$ e $\{u_2, v_2\}$, por exemplo, tendo a chance de reduzir a distância percorrida. Esse procedimento é demonstrado na Figura 8.

Figura 8 – Exemplo de troca 2-opt



Fonte: Adaptado de Hasegawa, Ikeguchi e Aihara (1997).

Esse procedimento é realizado diversas vezes com todos os pares de arestas possíveis. Ao final do processo, o menor caminho encontrado durante as tentativas é retornado como o caminho mínimo para o problema.

Ao longo deste capítulo apresentaram-se os principais temas que se relacionam com o presente estudo e as informações disponíveis na literatura. Foi possível perceber que existem grandes oportunidades de melhoria nos processos operacionais em um CD. Dessa maneira, no próximo capítulo apresentam-se o estudo de caso e a modelagem matemática da simulação dos processos de *picking*.

3 ESTUDO DE CASO

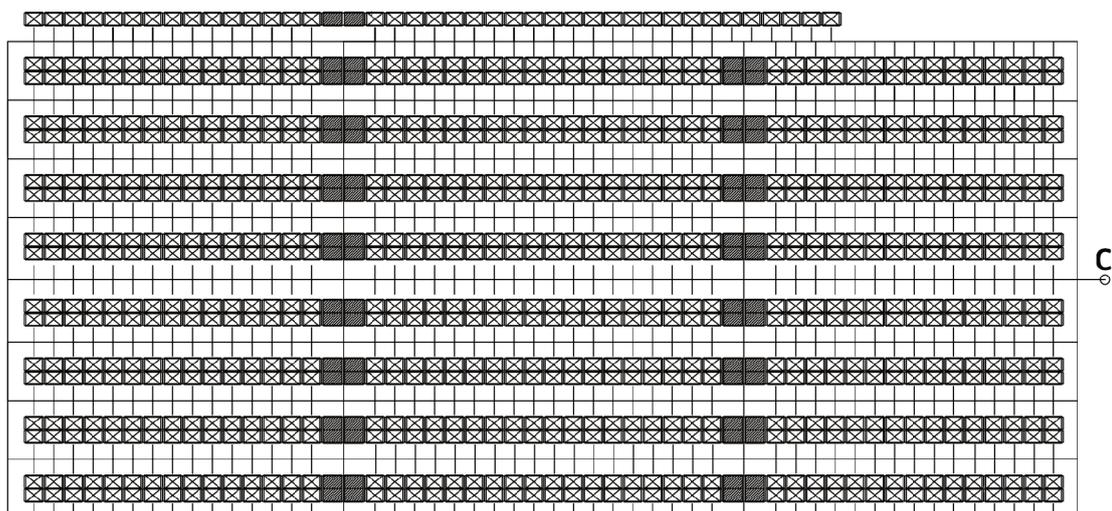
Nesse capítulo são apresentadas informações referentes ao estudo de caso, assim como a formulação matemática utilizada para representar os modelos de simulação. A primeira seção apresenta a empresa onde será realizado o estudo e define o problema que motivou a realização desse trabalho.

3.1 Descrição da empresa

A empresa em estudo trata-se de uma multinacional do ramo de tubos e conexões que atende todo o território brasileiro e possui quatro fábricas distribuídas pelo país. A planta em estudo está situada em Joinville - SC e atende toda a região sul do Brasil. Para este trabalho a empresa será denominada Empresa TC.

O centro de distribuição da Empresa TC está situado na mesma localidade da fábrica e será o objeto de estudo desse trabalho. A Figura 9 apresenta a dimensão e estrutura do CD.

Figura 9 – Estrutura do centro de distribuição



Fonte: Autoria própria.

Conforme demonstra a Figura 9, a estrutura do centro de distribuição em estudo apresenta 807 posições de porta *pallet*. As posições hachuradas indicam que existe um corredor e é possível a circulação pelo local. As linhas contínuas indicam os possíveis caminhos que podem ser percorridos por um separador (coletor de produtos)

para cada posição. Por final, na parte direita extrema do desenho, definida pela letra C, encontra-se a posição do *checkout*, ou seja, o ponto inicial e final de cada coleta realizada.

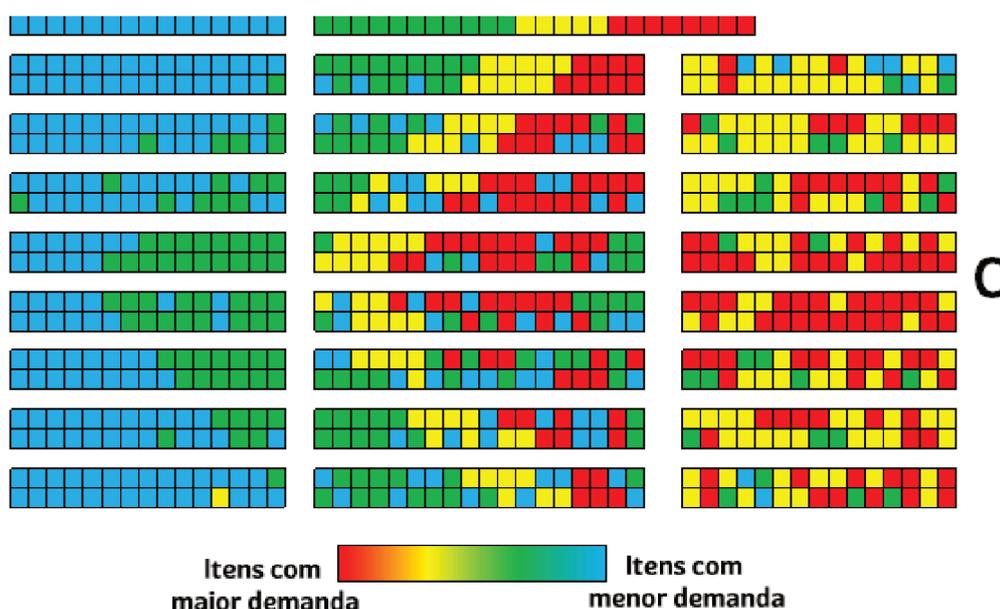
A fim de simplificar o estudo, somente será considerado o primeiro nível de armazenamento (nível a altura do chão no porta palete), utilizando os níveis restantes como estoque para abastecimento do nível inferior. Dessa maneira, a separação de produtos fica facilitada, visto que o trabalho é feito manualmente.

Desse modo, visando melhorar a eficiência do processo de *picking* na empresa em estudo, o presente trabalho sugere uma nova alocação de itens, conforme modelo matemático aqui proposto, o qual tem por objetivo minimizar o peso de cada combinação entre posição de alocação e demanda do item. Além disso, é proposta a simulação de diferentes métodos de *picking*, conforme descritos na literatura.

3.2 Problema de alocação dos itens

A primeira etapa para a resolução do problema foi definir uma nova alocação de itens nas posições de armazenagem no CD que será testada em relação a alocação atual utilizada pela empresa. Essa etapa foi necessária pela percepção que nem todos os itens com maior demanda por *picking* estavam alocados próximo ao local de *checkout* como demonstra a Figura 10, que representa o mapa térmico do CD. Isso se deve pela alteração da demanda dos produtos ao longo do tempo, visto que o plano de alocação de itens atual da empresa não é realizado a um ano e meio.

Figura 10 – Mapa térmico da situação atual no CD da empresa

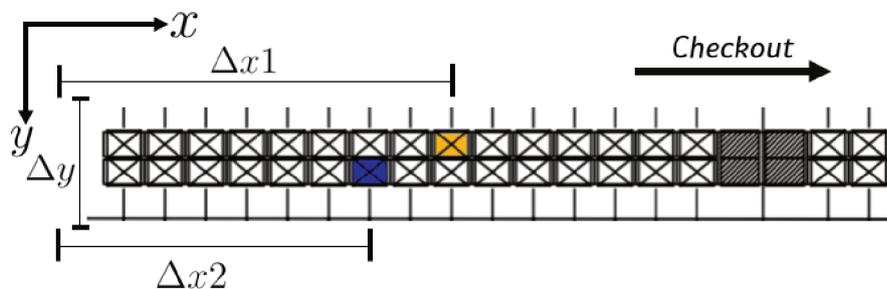


Fonte: Autoria própria.

O mapa térmico apresentado na Figura 10, é uma maneira de apresentar a distribuição dos itens nas posições de armazenagem no CD. Para isso, o presente trabalho visa analisar a alocação atual e propor um novo mapa térmico para a empresa, pois como é possível perceber na Figura 10, os itens que possuem maior demanda não estão totalmente posicionados próximos ao ponto de *checkout*.

Deste modo, empregou-se o cálculo da Distância de Manhattan (descrita na Seção 2.3.1) a fim de calcular a distância entre todas as posições de porta palete do CD assim como as distâncias entre o *checkout* e cada posição. A formulação matemática do método precisou ser alterada visto que existem variações no cálculo da distância, como mostra a Figura 11.

Figura 11 – Variações no cálculo da Distância de Manhattan



Fonte: Autoria própria.

A figura 11 demonstra uma das variações possíveis do cálculo da Distância de Manhattan, onde o deslocamento total se dá pela soma das componentes Δx_1 , Δx_2 e Δy . O caminho realizado refere-se ao caminho A da figura 5, apresentado na Seção 2.3.1. Para realizar o caminho B da mesma figura, os valores de Δx_1 , Δx_2 seriam referentes ao comprimento restante do porta paletes.

Portanto, para atender a todas as particularidades exigidas no cálculo das distâncias entre pontos, partindo da equação básica da Distância de Manhattan, utilizou-se o software MATLAB[®] para calcular as distâncias entre os 808 pontos do armazém em estudo, retornando uma matriz de dimensões 808x808.

Para o próximo passo da alocação de itens, são utilizadas somente as distâncias entre cada posição do CD e o *checkout*. Esses dados são utilizados em conjunto com a demanda média mensal dos 807 itens da empresa, com maior giro de estoque, para gerar uma matriz de pesos com dimensões 807x807.

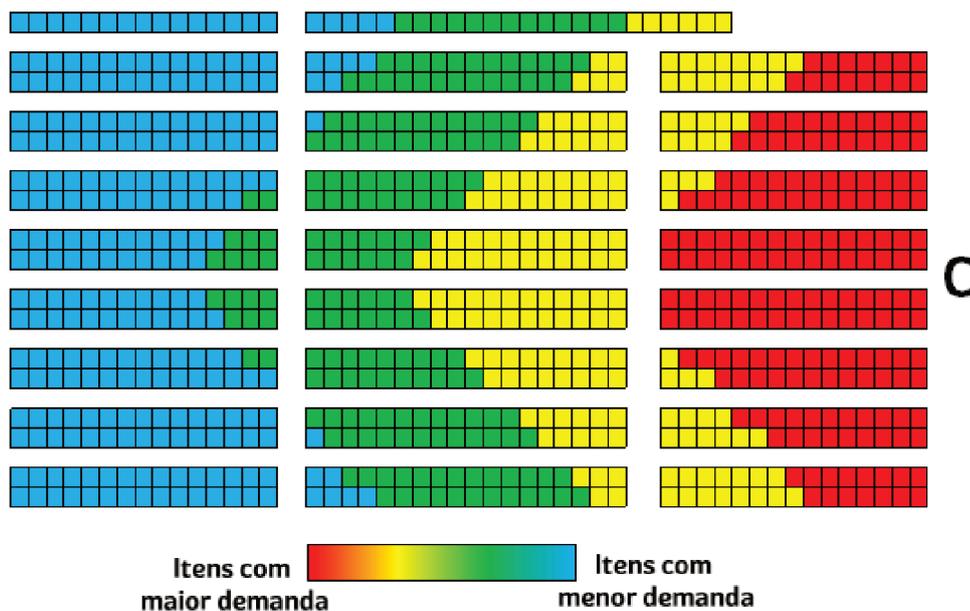
Para o cálculo do peso dos produtos, utiliza-se a multiplicação da distância da posição j do CD pela demanda do produto i . A demanda utilizada para os produtos foi analisada no período de 10 meses a partir do início do ano de 2017. Dessa forma, obtém-se o peso $p_{i,j}$ entre cada posição e item. Esses dados foram utilizados no

problema da mochila, apresentado na Seção 2.3.2, a fim de minimizar o peso total, ou seja, os produtos que possuem a maior demanda são alocados nas posições com menor distância para o *checkout*. Portanto, os parâmetros assumidos nas Equações (2.6) a (2.9) para resolução do problema foram $n = 807$ e a matriz de peso $p_{i,j}$ com dimensões 807x807.

Para a resolução do modelo, utilizou-se a ferramenta online *Neos Server* e o *solver* denominado Gurobi para modelos de programação linear. Dessa maneira, a resolução do problema apresentou 1.614 restrições, 651.249 variáveis e realizou 385.238 iterações do método *simplex* (DANTZIG; ORDEN; WOLFE, 1955).

O resultado obtido pelo modelo aproximou os itens com maior demanda ao ponto de *checkout*, como apresenta a Figura 12. Os diferentes cenários obtidos nessa etapa são utilizados na próxima seção a fim de avaliar as diferentes alocações de itens e seus resultados no desempenho operacional do CD.

Figura 12 – Mapa térmico da situação proposta no CD da empresa



Fonte: Autoria própria.

3.3 Modelo de avaliação de desempenho

A fim de avaliar os diferentes cenários que serão propostos pelo trabalho, faz-se necessário utilizar uma ferramenta quantitativa que determine uma rota para a realização da atividade de *picking*, bem como o tempo desta atividade. Dessa maneira, utilizou-se o conceito do Caixeiro Viajante para definir a rota de atividade.

Conforme comentado na Seção 2.3.3, o PCV é classificado como NP-difícil e devido a quantidade de posições que devem ser visitadas, torna-se inviável utilizar a

formulação exata do modelo para análise dos cenários em função do elevado tempo de computação necessário para a resolução do problema.

Dessa maneira, utilizam-se as heurísticas do Vizinho mais Próximo e trocas 2-opt, abordadas nas Seções 2.3.3.1 e 2.3.3.2, respectivamente. O procedimento busca construir uma rota inicial pelo método do Vizinho mais Próximo, utilizando como ponto inicial o ponto de *checkout* e, a partir dessa rota, realiza as trocas 2-opt com o objetivo de melhorar o caminho inicial.

As heurísticas supracitadas foram implementadas em linguagem MATLAB[®] com o objetivo de simular os processos e gerar uma rota de coleta otimizada para cada ordem. Para gerar a rota de *picking* foi necessário exportar uma base de dados do Microsoft Excel contendo as posições de armazenagem em que haviam itens a serem coletados para cada ordem de coleta nos cenários de simulação.

3.3.1 Construção da solução inicial

De modo a obter uma solução inicial, utilizou-se a heurística do vizinho mais próximo, tendo como ponto inicial da rota o ponto de *checkout*. Os itens de uma ordem de coleta são listados e, a partir dessa lista, define-se quais posições do CD devem ser visitadas pela rota.

A partir do ponto inicial, define-se o próximo ponto de coleta da rota, selecionando a posição do CD a ser visitada (vizinho) mais próxima ao ponto inicial. O próximo ponto de coleta da rota a ser selecionado refere-se à posição de coleta que ainda não foi visitada mais próxima ao ponto atual.

Esse procedimento é repetido até que todos os pontos de coleta estejam presentes na rota e, por fim, conecta-se o último ponto da rota de coleta ao ponto inicial (*checkout*), finalizando a rota. O método é aplicado para cada uma das ordens de coleta do período selecionado, gerando uma rota inicial para cada ordem. O passo a passo utilizado no algoritmo é apresentado na Figura 13.

3.3.2 Melhoramento da rota por busca local

De modo a determinar uma rota otimizada de coleta, a partir da rota inicial encontrada no método do vizinho mais próximo, aplica-se a heurística de busca local denominada de trocas 2-opt, abordado na Seção 2.3.3.2. Esse método foi escolhido devido a convergência rápida para uma resposta, mesmo que não garanta solução ótima, apenas para avaliar as diferentes metodologias de *picking*.

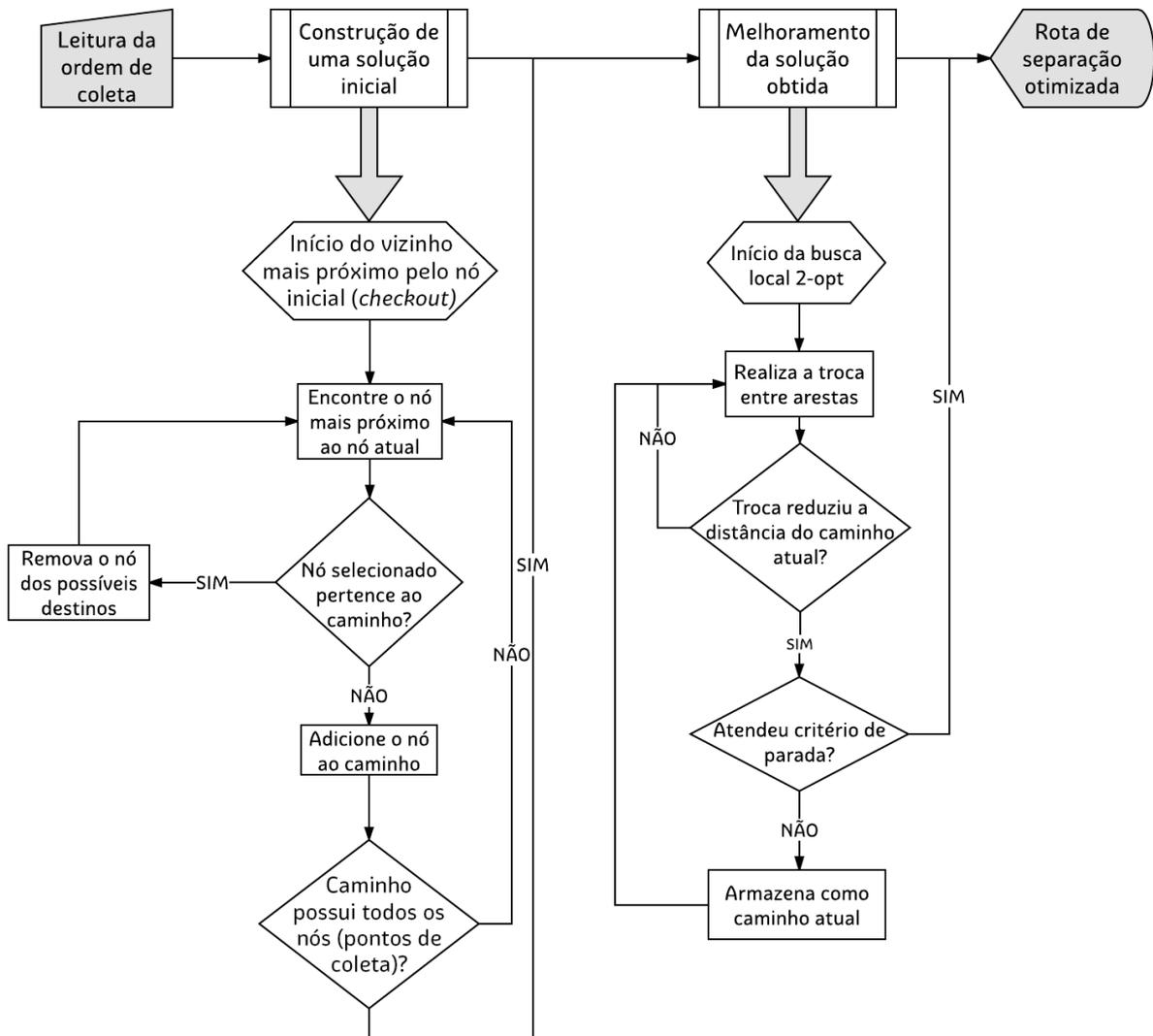
Com o intuito de melhorar a rota inicial, são testadas trocas entre arestas de modo a verificar se a troca reduz o caminho percorrido pela rota. Caso a troca resulte em uma redução de distância, essa rota é armazenada como rota atual e são realizadas novas trocas com o objetivo de verificar se é possível reduzir a distância da rota de

coleta.

Esse processo é realizado para todas as ordens de coleta, a fim de determinar uma rota otimizada para a realização da atividade de separação. Desse modo, é possível determinar o tempo de atividade de cada ordem de coleta a partir de uma metodologia de *picking* utilizada.

O modelo de avaliação de desempenho utilizado no trabalho é apresentado no fluxograma apresentado pela Figura 13, incluindo os procedimentos utilizados para a construção de uma rota inicial e no melhoramento dessa rota.

Figura 13 – Fluxograma da avaliação de desempenho



Fonte: Autoria própria.

O critério de parada utilizado para o melhoramento da solução (trocas 2-opt) foi que após testar todos os pares de arestas possíveis de troca, caso não haja redução

na distância atual da rota, o processo é finalizado.

3.4 Cenários de modelagem

Os cenários utilizados pela modelagem diferem-se no processo operacional utilizado na realização do *picking* e pela alocação dos itens em diferentes posições do CD. Os cenários foram criados a fim de abordar as metodologias de *picking* abordados na Seção 2.1.1 e avaliar os resultados de uma nova alocação de itens pela empresa em estudo.

A fim de simular um período de atendimento, foram selecionadas aleatoriamente 10 ordens de coleta de pedidos recebidas pela empresa durante um período do primeiro turno de trabalho. Essas ordens são utilizadas para simular a separação (*picking*) dos itens conforme a metodologia de *picking* e alocação de itens de cada cenário e a enumeração das ordens de coleta foi realizada por ordem cronológica da chegada dos pedidos à empresa. A quantidade de produtos por ordem de coleta é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 – Quantidade de itens por ordem de coleta

Ordem de coleta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
nº itens	21	19	22	20	30	21	20	20	24	15

Considerando uma mão de obra de quatro separadores (coletores) para o turno selecionado, os cenários serão avaliados de acordo com os indicadores apresentados na Seção 2.2, “tempo de separação da ordem” e “produtividade da separação”, com exceção da precisão da separação, visto que as ferramentas utilizadas não proporcionam a chance de verificar a acuracidade durante o processo.

Para o presente estudo são considerados oito cenários para análise. Os quatro primeiros tratam-se da simulação de quatro diferentes metodologias de *picking* (discreto, por zona, por lote e por onda) para o atual sistema de alocação de itens (apresentado na Figura 10) nas prateleiras do armazém da empresa em estudo. Os outros quatro cenários tratam da simulação das mesmas quatro diferentes metodologias de *picking* considerando a nova proposta do sistema de alocação de itens (apresentado na Figura 12) nas prateleiras do armazém da empresa em estudo.

3.4.1 Cenário alocação de itens atual A - *picking* discreto

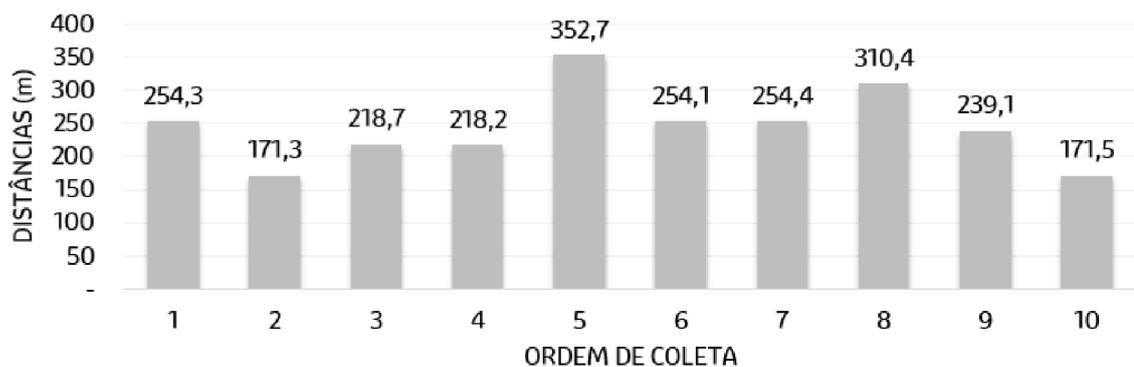
O *cenário atual A* refere-se a apresentação do atual sistema utilizado pela empresa, tanto no que diz respeito à alocação dos itens quanto a metodologia de *picking*. Utilizando o “*picking* discreto” a empresa processa as ordens de coleta, onde

cada funcionário é responsável por uma ordem de coleta completa.

O sistema de controle de estoques da empresa determina uma ordem de coleta para os separadores, formando a menor rota possível, coletando todos os itens da ordem solicitada. Dessa maneira, o sistema já visa minimizar a distância total percorrida por cada operador. Para avaliar as distâncias percorridas em cada uma das ordens de coleta, utilizou-se o modelo de avaliação de desempenho para definir rotas de coleta para cada ordem. As distâncias de cada rota, por ordem de coleta, são apresentadas no Gráfico 1.

É possível perceber que a distâncias das rotas de coleta geradas pelo modelo variam em torno de 170 a 350 metros e que os valores das distâncias estão diretamente relacionados à quantidade de itens das ordens apresentadas na Tabela 2.

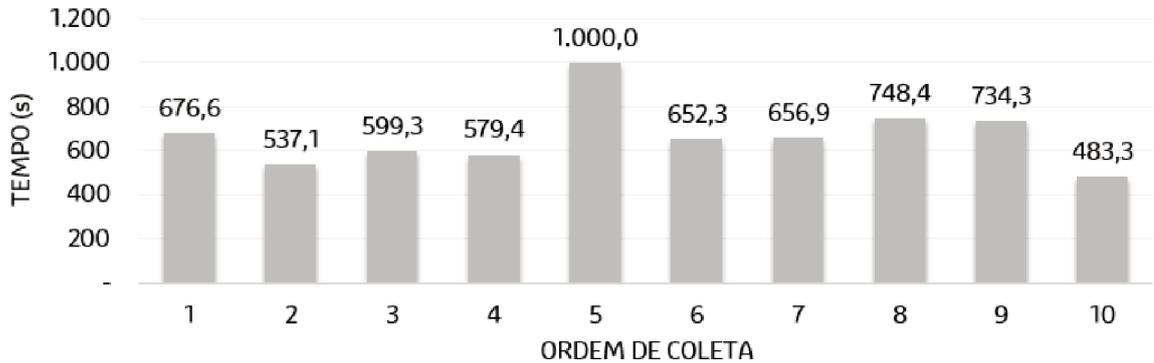
Gráfico 1 – Distâncias das rotas de coleta por ordem do cenário atual A



Fonte: Autoria própria.

Nesse cenário, cada funcionário é responsável por uma ordem de coleta. O separador recebe a ordem e somente após finalizá-la ou seja após a entrega de todos os itens no *checkout*, recebe a nova ordem para iniciar a próxima coleta. Os tempos de separação segundo o modelo utilizado são apresentados no Gráfico 2.

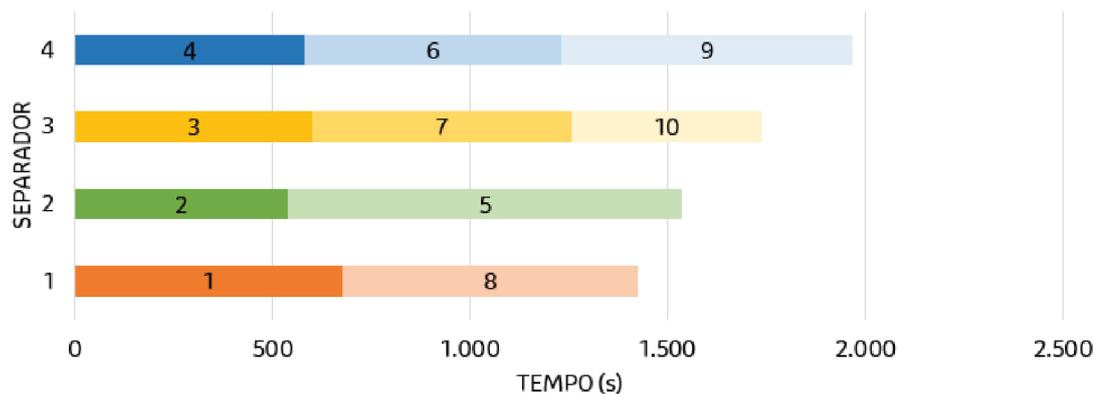
Gráfico 2 – Tempos de coleta por ordem do cenário atual A



Fonte: Autoria própria.

Como é possível observar nos Gráficos 1 e 2, o tempo de separação está diretamente relacionado à quantidade de itens presentes na ordem de coleta, ou seja, para uma ordem de coleta com 19 itens (ordem 2), o tempo de separação é de 537,1 segundos e o tempo de separação para uma ordem de coleta contendo 24 itens (ordem 9) é de 734,3. A escala dos funcionários em relação à ordem de atendimento dos pedidos está apresentada no Gráfico 3.

Gráfico 3 – Escala de separação do cenário atual A



Fonte: Autoria própria.

Conforme indicado no Gráfico 3 e na Tabela 3, o tempo total de atendimento dos dez pedidos é de aproximadamente 1.966 segundos, sendo que o separador 4 é o que possui maior tempo de trabalho, considerando que todos os separadores iniciem os trabalhos ao mesmo tempo. Os tempos de trabalho de cada separador são apresentados na tabela 3.

Dessa maneira, é possível notar que alguns trabalhadores estarão inativos

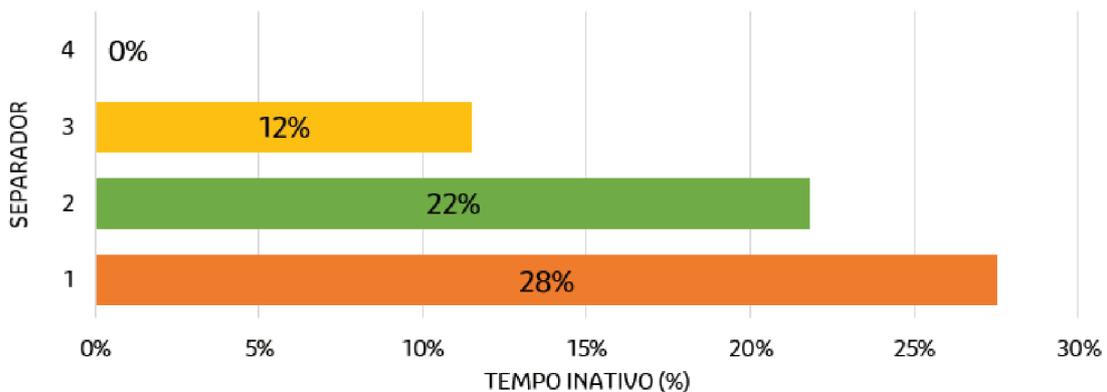
Tabela 3 – Tempo de coleta por separador do cenário atual A

Separador	1	2	3	4
Tempo de coleta (s)	1.425	1.537,1	1.739,5	1.966

enquanto as ordens de coleta ainda estão sendo processadas. Esse tempo pode variar de acordo com o ritmo de trabalho de cada separador, considerado constante e igual para todos neste trabalho. O percentual de tempo inativo de cada separador em relação ao tempo total de processamento de todas as ordens de coleta são apresentadas no Gráfico 4.

Observa-se que o maior tempo de *picking* se dá pelos separadores que realizam 3 ordens de coleta em relação aos demais funcionários que realizam somente 2 ordens. Nessa caso, o separador 1 que apresentou 28% de tempo inativo poderia absorver parte do trabalho do funcionário 4, reduzindo o tempo total de coleta das 10 ordens. Porém, no sistema atual de trabalho da empresa, onde cada separador é responsável por uma ordem de coleta única, esta alteração não poderia ser aplicada.

Gráfico 4 – Tempo inativo por separador do cenário atual A



Fonte: Autoria própria.

3.4.2 Cenário alocação de itens atual B - *picking* por zona

O *cenário atual B* refere-se ao primeiro cenário de simulação em relação ao realizado na prática pela empresa em estudo. A alocação dos itens continua sendo a mesma utilizada pela empresa atualmente, porém, a metodologia de separação refere-se ao *picking* por zona.

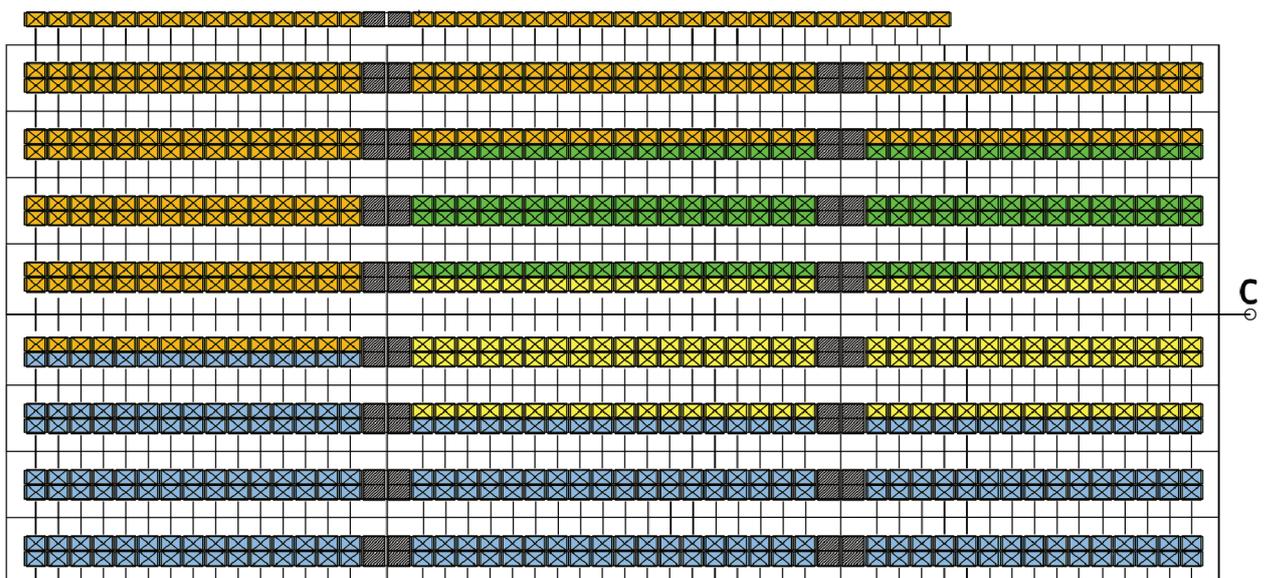
O CD foi dividido em quatro zonas distintas, onde cada separador é responsável por uma zona e deve coletar os itens contidos na área designada a ele. As ordens de coleta são recebidas e divididas de maneira a identificar as zonas pertencentes a cada

item da ordem. A divisão das zonas no CD da empresa em estudo é apresentado na Figura 14 e foi definida de modo a equilibrar o volume total de produtos por zona, visto que as regiões que contém produtos de maior demanda (zonas 2 e 3) possuem menor quantidade de posições de armazenagem.

A separação das zonas realizou-se observando o mapa térmico do CD, apresentado na Figura 12, onde foi possível definir que nas posições de armazenagem centrais e próximas ao *checkout* estão alocados itens com grande demanda e, portanto, possuem maior volume a ser separado.

Dessa maneira para equilibrar os tempos de separação entre zonas, definiu-se duas regiões centrais (zonas verde e amarela) com menor número de posições de armazenagem onde a distância entre posições não é elevada, porém o volume de itens para separação é maior. As duas regiões restantes (zonas laranja e azul) foram definidas considerando um volume de separação de itens menor e, portanto, maior a distância máxima entre posições na mesma zona de *picking*.

Figura 14 – Zonas de separação do CD



Fonte: Autoria própria.

A partir da separação das zonas apresentada na figura 14, o separador 1 é responsável pela zona laranja (1), o separador 2 é responsável pela zona verde (2), assim como o separador 3 é responsável pela zona amarela (3) e, por fim, o separador 4 é responsável pela zona azul (4). Como este trabalho não irá considerar eficiências de separação diferentes entre funcionários, a distribuição das zonas para os separadores foi realizada de maneira aleatória.

Além disso, as ordens de coleta utilizadas no “*picking* discreto” devem ser separadas e agrupadas de acordo com a zona de trabalho de cada separador. Dessa

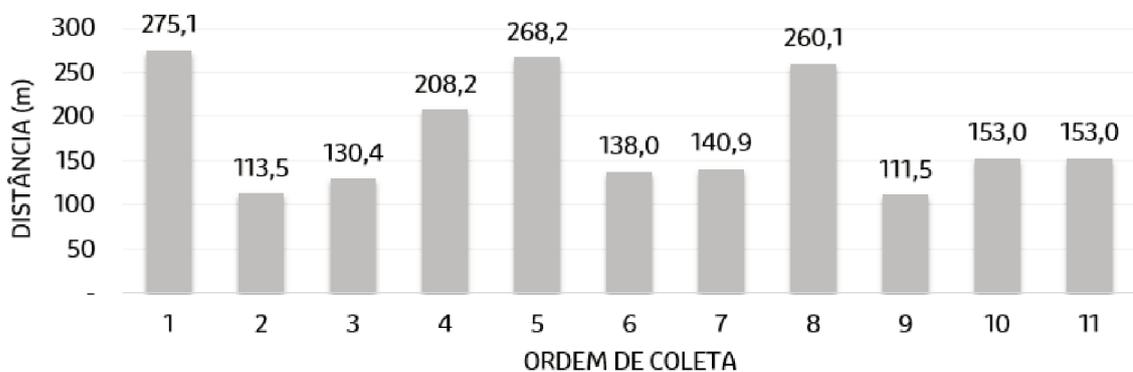
maneira, para esse cenário, as 10 ordens de coleta anteriores foram reagrupadas em 11 novas ordens de coleta, apresentadas na Tabela 4, onde cada ordem possui somente itens referentes a uma específica zona do CD.

Tabela 4 – Ordens de coleta do cenário atual B

Ordem de coleta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Zona	1	2	3	4	1	2	3	1	2	3	3
nº itens	20	18	21	23	18	18	21	14	17	18	20

Foi necessário realizar o acréscimo de uma ordem de coleta em razão do grande volume de itens referentes a zona 3, que excediam a capacidade de 3 ordens de coleta. Essa diferença de volume também impactou nas ordens referentes a zona 4, sendo que foi necessária apenas uma ordem para atender esta demanda. Dessa maneira, utilizando o modelo de avaliação de desempenho abordado na Seção 3.3 para as novas ordens de coleta geradas, foi possível definir as distâncias percorridas entre cada rota de coleta, apresentadas no Gráfico 5.

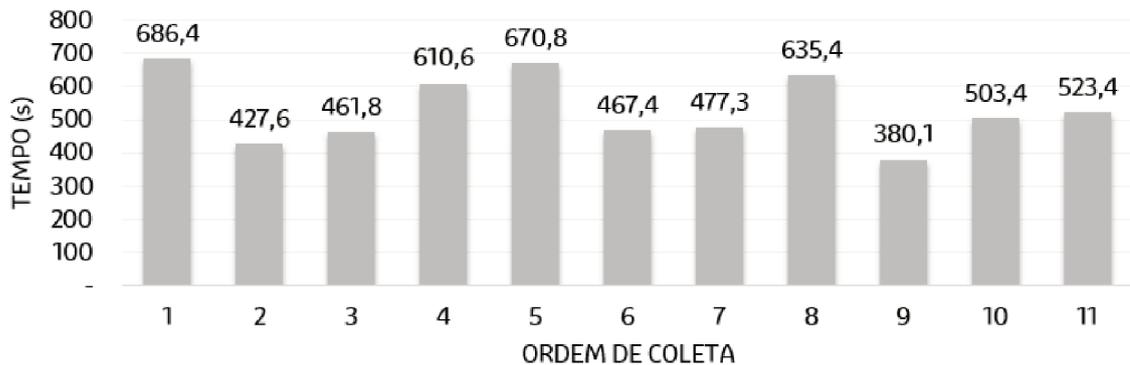
Gráfico 5 – Distâncias das rotas de coleta por ordem do cenário atual B



Fonte: Autoria própria.

Do mesmo modo utilizado para o *cenário atual A*, o tempo de separação de cada separador foi considerado constante, devido a dificuldade em representar eficiências produtivas distintas para cada trabalhador, somente variando a quantidade de itens a ser coletado de acordo com a zona de atuação de cada separador no CD bem como a ordem de coleta realizada por cada separador. Portanto, os tempos de separação por ordem de coleta realizados nesse cenário são apresentados no Gráfico 6.

Gráfico 6 – Tempos de coleta por ordem do cenário atual B

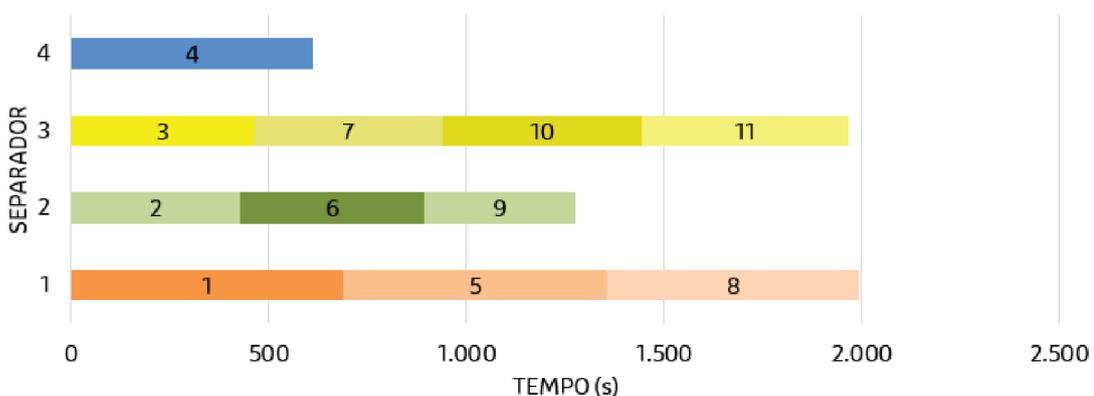


Fonte: Autoria própria.

Vale destacar que devido ao volume de itens contido nas ordens de coleta, é necessário que o separador atenda uma ordem de coleta por vez, do mesmo modo efetuado pelo “*picking* discreto”. Porém, neste cenário o separador estará mais habituado aos itens referentes a sua zona, resultando em maior agilidade no processo de separação.

De acordo com os tempos apresentados no Gráfico 6, observa-se uma relação entre a zona de atendimento de cada separador e os tempos e distâncias de atendimento de cada ordem. Neste cenário, apesar de a ordem de coleta 8 possuir 14 itens, a de menor quantidade entre todas as ordens, a realização do *picking* para essa ordem demandou maior tempo e distância que ordens com maior número de itens, devido ao tamanho da zona de atendimento e distância entre os itens dentro da ordem. As escalas de trabalho de cada separador para este cenário são apresentadas no Gráfico 7.

Gráfico 7 – Escala de separação do cenário atual B



Fonte: Autoria própria.

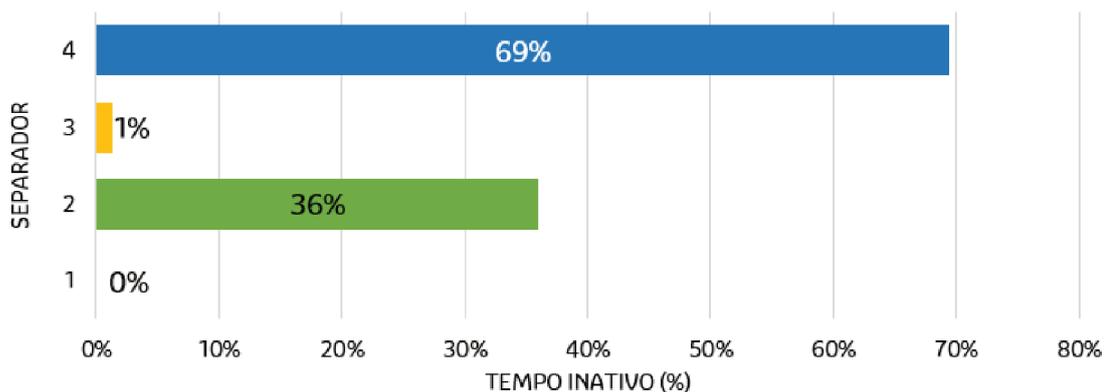
É possível perceber que, pela baixa demanda dos itens localizados na zona 4, somente uma ordem de coleta foi necessária para atender essa demanda e, portanto, o tempo de atividade desse funcionário apresenta-se inferior aos demais funcionários (aproximadamente 48% menor que o segundo menor tempo de coleta entre os quatro separadores). Os tempos de coleta de cada separador são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Tempo de coleta por separador do cenário atual B

Separador	1	2	3	4
Tempo de coleta (s)	1.992,7	1.275,1	1.966	610

Observa-se no Gráfico 7 e na Tabela 5 que existe um desbalanço na escala de trabalho, em que o separador 4 permanece aproximadamente 69% do tempo de trabalho inativo, como é apresentado no Gráfico 8.

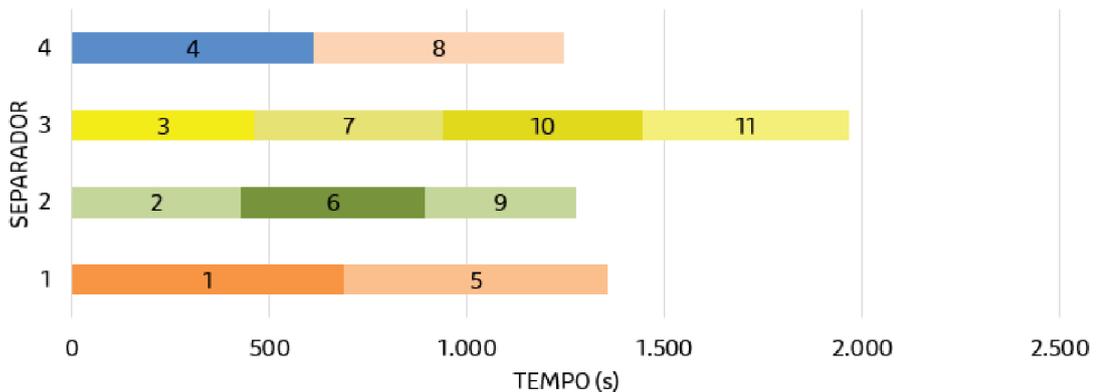
Gráfico 8 – Tempo inativo por separador do cenário atual B



Fonte: Autoria própria.

Dessa maneira, alterando o processo descrito na Seção 2.1.1.2 – onde cada funcionário é responsável pela coleta de itens que pertencem a sua zona de atuação – de maneira a diminuir o tempo inativo do separador 4, pode optar-se por destinar a ordem de coleta 8, pertencente a zona laranja (1) a este funcionário, como uma tentativa de balancear melhor a distribuição de tarefas entre todos os parâmetros. Outra possível alteração seria destinar a ordem de coleta 4 para o separador 2 podendo reduzir 1 posto de trabalho. Portanto, a nova escala de separação para o *cenário atual B* é apresentada no Gráfico 9.

Gráfico 9 – Escala de separação do cenário atual B - após alteração



Fonte: Autoria própria.

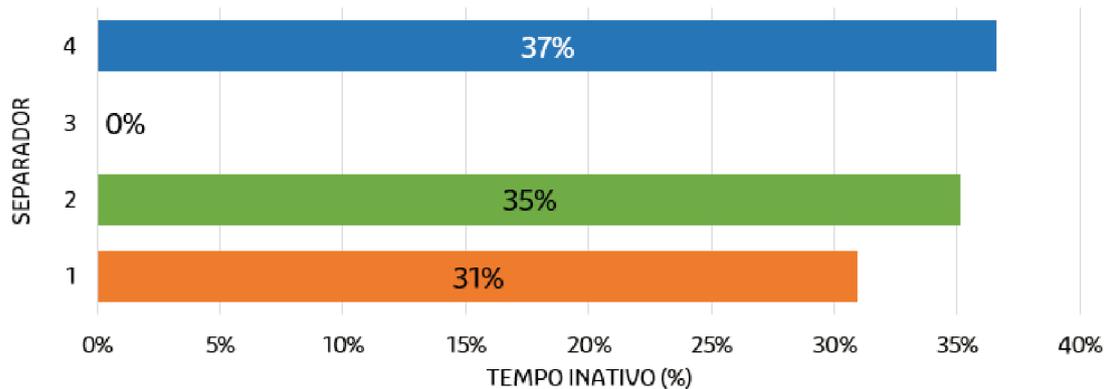
A partir dessa alteração o tempo de trabalho do funcionário 4 foi aumentado em aproximadamente 100% (636 segundos) e o tempo de trabalho do funcionário 1 reduziu aproximadamente 47% (636 segundos). Desse modo, os tempos de separação de cada funcionário para a coleta de todas as 11 ordens apresentadas neste cenário são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Tempo de coleta por separador do cenário atual B - após alteração

Separador	1	2	3	4
Tempo de coleta (s)	1.357,3	1.275,1	1.966	1.246,1

Com essa alteração foi possível reduzir o tempo de inatividade do separador 4, que era de aproximadamente 69%, e reduzir o tempo de trabalho total das 11 ordens de coleta que passou de aproximadamente 1.992,7 segundos para 1.966 segundos. A porcentagem de tempo inativo de cada funcionário após a alteração é apresentada no Gráfico 10.

Gráfico 10 – Tempo inativo por separador do cenário atual B - após alteração



Fonte: Autoria própria.

3.4.3 Cenário alocação de itens atual C - *picking* por lote

O terceiro cenário, denominado de *cenário atual C*, representa a simulação do trabalho de “*picking* por lote” na alocação de itens atual da empresa. Para este cenário, as dez ordens de coleta originais utilizadas pela empresa foram reprocessadas de acordo com suas ordens de chegada e o compartilhamento de itens comuns entre ordens, com o objetivo de reduzir a quantidade de itens por ordem de coleta.

Neste cenário foi possível agrupar itens contidos em duas ou mais ordens de coleta simultâneas, tentando minimizar o deslocamento do separador. Esta metodologia de *picking* visa acumular lotes de produtos em uma mesma ordem, porém, em casos com grande variedade de itens, esta metodologia se aproxima muito do “*picking* por zona”. Dessa maneira, as ordens de coleta utilizadas para este cenário são apresentadas na Tabela 7.

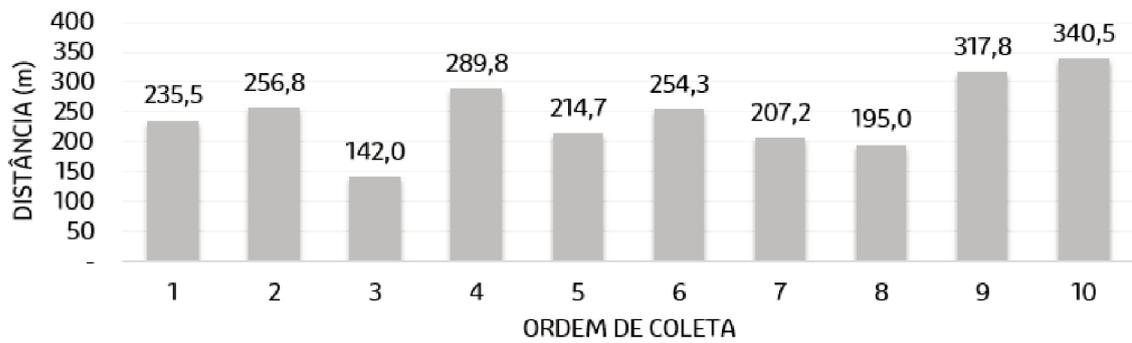
Tabela 7 – Ordens de coleta do cenário atual C

Ordem de coleta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
nº itens	17	20	15	19	18	20	15	19	20	21

As ordens de coleta foram remodeladas de maneira a equilibrar o tempo de coleta entre ordens, analisando o volume total de itens contidos na ordem. Dessa maneira, foi possível gerar 10 novas ordens de coleta agrupando itens e reduzindo o número de vezes que uma posição de armazenagem do CD é frequentada.

Assim, utilizou-se o modelo de avaliação de desempenho para calcular as distâncias de rota de coleta para cada uma das ordens de coleta. As distâncias obtidas para cada ordem de coleta são apresentadas no Gráfico 11.

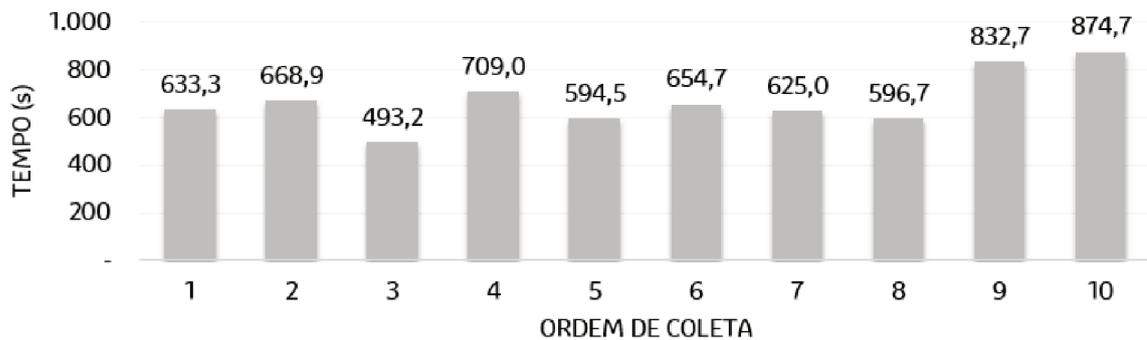
Gráfico 11 – Distâncias das rotas de coleta por ordem do cenário atual C



Fonte: Autoria própria.

Do mesmo modo que os demais cenários, o processo é realizado por um funcionário (separador) que percorre o CD e coleta os itens necessários. Portanto, os tempos de coleta de cada ordem estão dispostos no Gráfico 12.

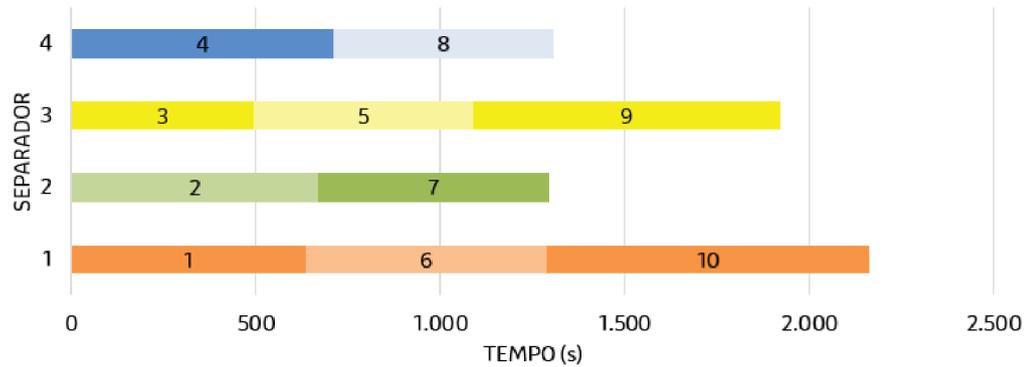
Gráfico 12 – Tempos de coleta por ordem do cenário atual C



Fonte: Autoria própria.

Utilizando o mesmo procedimento que os demais cenários, cada ordem de coleta precisa ser realizada individualmente e por um único funcionário. Dessa maneira, a escala de separação para o *cenário atual C* é apresentada no Gráfico 13.

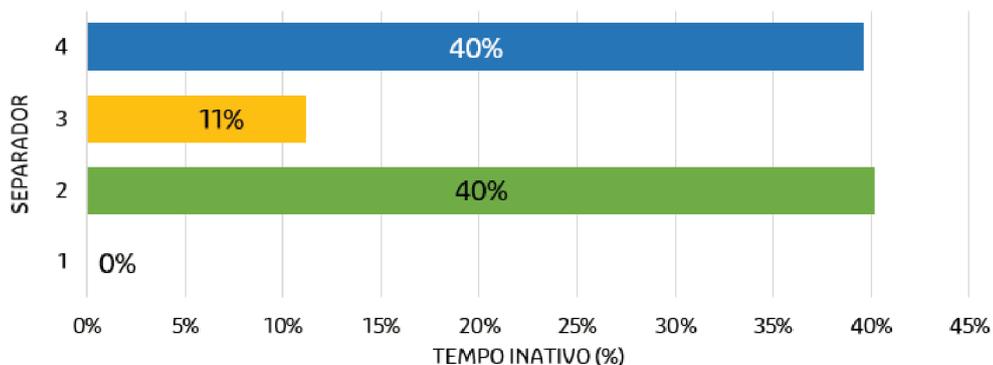
Gráfico 13 – Escala de separação do cenário atual C



Fonte: Autoria própria.

Como é possível observar no Gráfico 13, a disposição das ordens de coleta proporciona tempo ocioso nos funcionários com exceção ao que possui maior tempo de trabalho (separador 1). Dessa maneira, em relação ao tempo total para a realização do procedimento, a porcentagem de tempo inativo por separador deste cenário é apresentada no Gráfico 14.

Gráfico 14 – Tempo inativo por separador do cenário atual C



Fonte: Autoria própria.

De acordo com o demonstrado nos Gráficos 13 e 14, o tempo total de ciclo do *cenário atual C* é de 2.162,7 segundos, valor elevado se comparado ao *cenário atual A* de 1.513 segundos. Os tempos totais de separação de cada funcionário são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Tempo de coleta por separador do cenário atual C

Separador	1	2	3	4
Tempo de coleta (s)	2.162,7	1.293,9	1.920,4	1.305,7

3.4.4 Cenário alocação de itens atual D - *picking* por onda

O quarto cenário, denominado de *cenário atual D*, aborda a simulação do processo de separação de itens segundo a metodologia do “*picking* por onda”, abordado na Seção 2.1.1.4, tendo como distribuição dos produtos no Centro de Distribuição a alocação utilizada atualmente pela empresa.

Este método realizou, pela ordem cronológica de chegada das ordens de coleta, um agrupamento de itens de acordo com as ondas selecionadas. Como o intervalo entre as ordens de coleta é baixo, questão de minutos, foram definidas duas ondas de 30 minutos para a alocação dos produtos em novas ordens de coleta, sendo que cada onda possui 5 ordens.

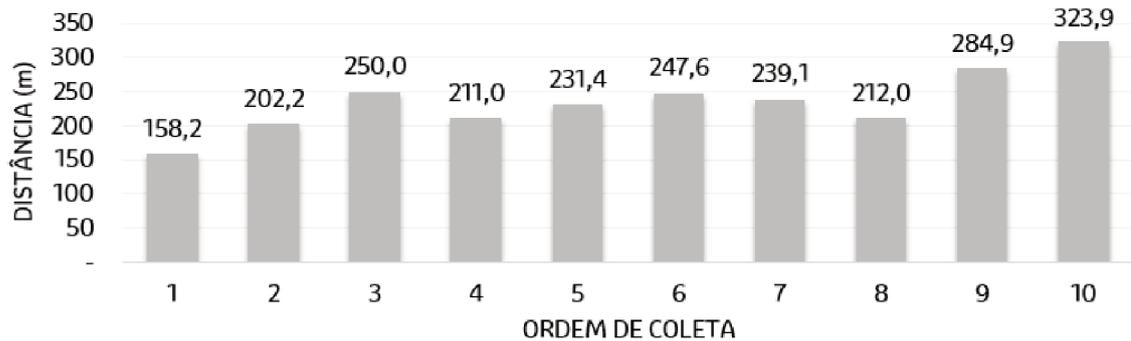
Dessa maneira, a nova configuração das ordens de coleta, visou agrupar, em uma mesma ordem, os produtos que se repetiam nas ordens originais. Esse procedimento resultou em uma redução da quantidade de itens por ordem de coleta, em média 30% menor que o *cenário atual A*. As novas ordens utilizadas pelo cenário são apresentadas na Tabela 9.

Tabela 9 – Ordens de coleta do cenário atual D

Ordem de coleta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
nº itens	13	13	15	18	12	16	13	10	19	19

Do mesmo modo realizado nos demais cenários, a partir das ordens de coleta apresentadas na Tabela 9, utilizou-se o modelo de avaliação de desempenho a fim de calcular a distância da rota de coleta de cada uma das ordens. As distâncias retornadas pelo modelo são apresentadas no Gráfico 15.

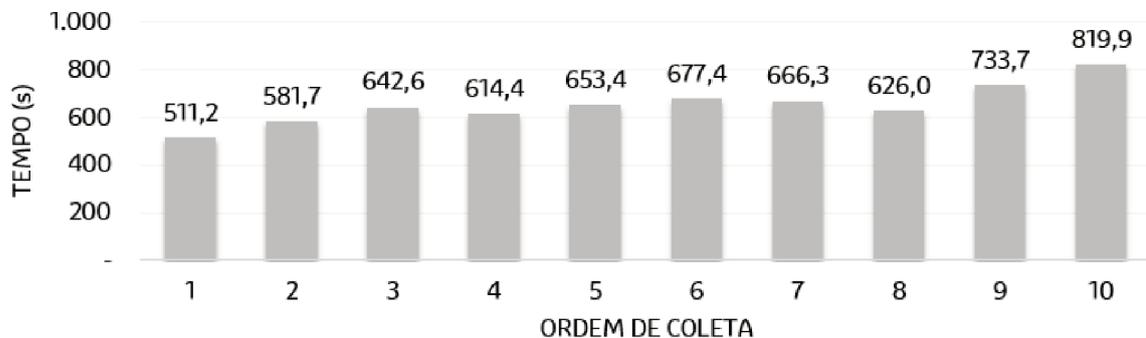
Gráfico 15 – Distâncias das rotas de coleta por ordem do cenário atual D



Fonte: Autoria própria.

Similar ao realizado nos demais cenários, o ritmo de separação de cada um dos funcionários foi considerado igual e constante, ou seja, a atividade é realizada no mesmo ritmo do início ao fim da ordem de coleta. Desse modo, os tempos de coleta do *cenário atual D* são apresentados no Gráfico 16.

Gráfico 16 – Tempos de coleta por ordem do cenário atual D

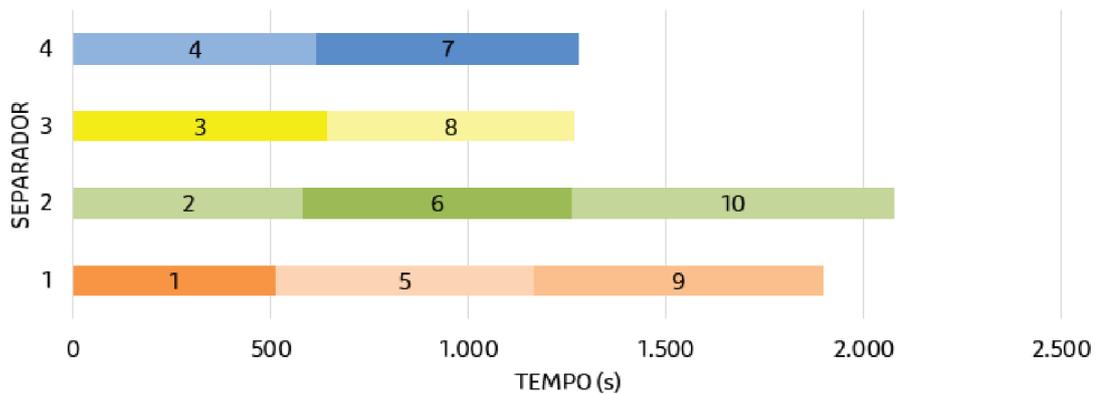


Fonte: Autoria própria.

Observa-se que o tempo de coleta das ordens é diretamente relacionada ao número de itens contidos na ordem e a distância total da rota de coleta. Porém, como no exemplo da ordem 4, que possui 18 itens, devido a proximidade dos itens no CD, foi possível gerar uma rota com distância menor que da ordem de coleta 5, que possui 12 itens.

Para a realização da atividade de *picking*, cada separador é responsável por uma ordem de coleta e só poderá coletar itens de uma nova ordem assim que finalizar a atual. Dessa forma a escala de separação para este cenário é apresentado no Gráfico 17.

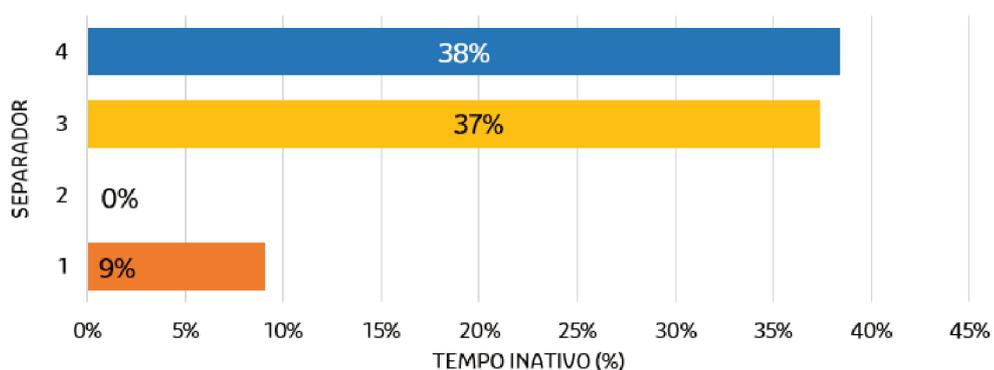
Gráfico 17 – Escala de separação do cenário atual D



Fonte: Autoria própria.

Conforme o Gráfico 17, existe um desbalanço no tempo de atividade dos demais funcionários em relação ao que possui maior tempo de coleta. Esse desbalanço é retratado por um tempo inativo dos funcionários, que é apresentado na Figura 18.

Gráfico 18 – Tempo inativo por separador do cenário atual D



Fonte: Autoria própria.

Desse modo, o tempo total de ciclo de trabalho para o presente cenário corresponde a 2.079,1 segundos, tempo realizado pelo separador 2. Os tempos de coleta, por separador, do *cenário atual D* são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Tempo de coleta por separador do cenário atual D

Separador	1	2	3	4
Tempo de coleta (s)	1.898,2	2.079,1	1.268,6	1.280,8

3.4.5 Cenário alocação de itens proposta A - *picking* discreto

O *cenário proposto A* tem como objetivo simular o “*picking* discreto” mediante a nova alocação de produtos proposta pelo trabalho, conforme a Figura 12. Ou seja, a comparação entre os cenários *atual A* e *proposto A* reflete a diferença produtiva da nova alocação dos itens visto que a metodologia de *picking* segue a mesma (“*picking* discreto”).

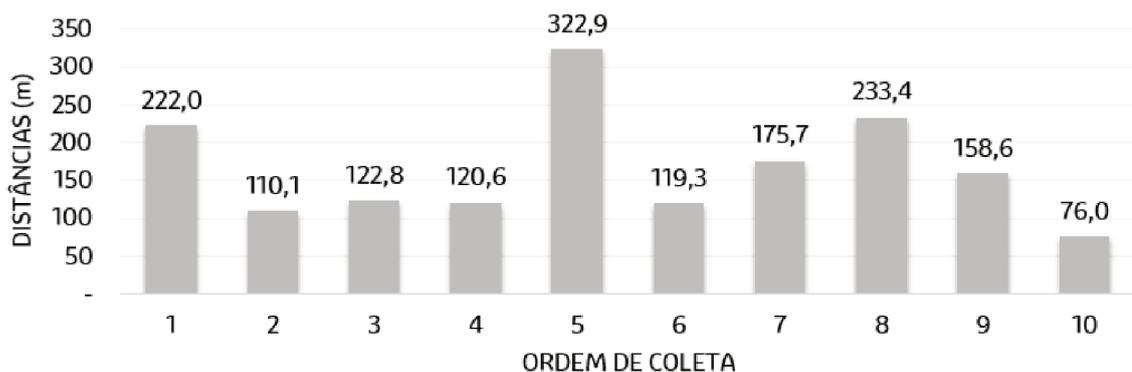
Além disso, as ordens de coleta utilizadas para este cenário referem-se às ordens de coleta utilizadas pela empresa e selecionadas em um determinado turno de trabalho na mesma. Estas ordens são apresentadas na Tabela 11.

Tabela 11 – Ordens de coleta do cenário proposto A

Ordem de coleta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
nº itens	21	19	22	20	30	21	20	20	24	15

Assim como no *cenário atual A*, cada funcionário é responsável por uma ordem de coleta e o atendimento das coletas ocorre imediatamente após o término da coleta atual que estava sendo atendida pelo funcionário. Dessa maneira, utilizando a ferramenta de análise de desempenho apresentada na Seção 3.3, as distâncias das rotas deste cenário para cada ordem de coleta são apresentadas no Gráfico 19.

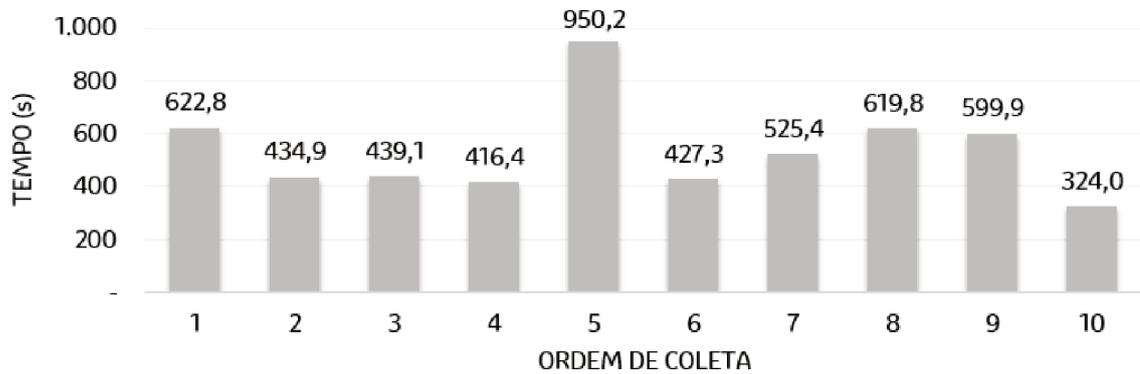
Gráfico 19 – Distâncias das rotas de coleta por ordem do cenário proposto A



Fonte: Autoria própria.

A partir das distâncias de cada uma das rotas para as ordens de coleta, utilizando a metodologia de “*picking* discreto”, foi possível definir os tempos de coleta para cada uma das ordens, que são apresentados no Gráfico 20.

Gráfico 20 – Tempos de coleta por ordem do cenário proposto A

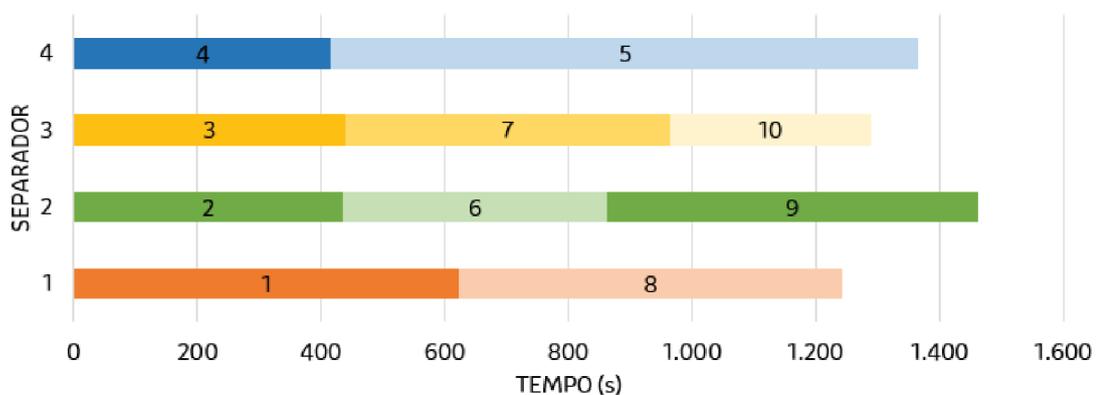


Fonte: Autoria própria.

Devido a metodologia de *picking* do cenário, os valores de tempo de coleta e distância estão diretamente relacionados ao número de itens contidos nas ordens de coleta, sendo que em todas as ordens existe um volume balanceado entre os itens a serem coletados de modo a não extrapolar a capacidade volumétrica do suporte utilizado para o *picking*.

Dessa maneira, foi possível definir uma escala de atendimento para cada uma das ordens de coleta, levando-se em consideração as definições da metodologia de *picking* utilizada para este cenário, onde cada funcionário é responsável por uma ordem de coleta e só poderá atender a próxima ordem assim que finalizar a separação de todos os itens presentes na ordem atual. Portanto, a escala de separação deste cenário é apresentada no Gráfico 21.

Gráfico 21 – Escala de separação do cenário proposto A



Fonte: Autoria própria.

Observa-se no Gráfico 21 que todas as ordens de coleta são finalizadas em um

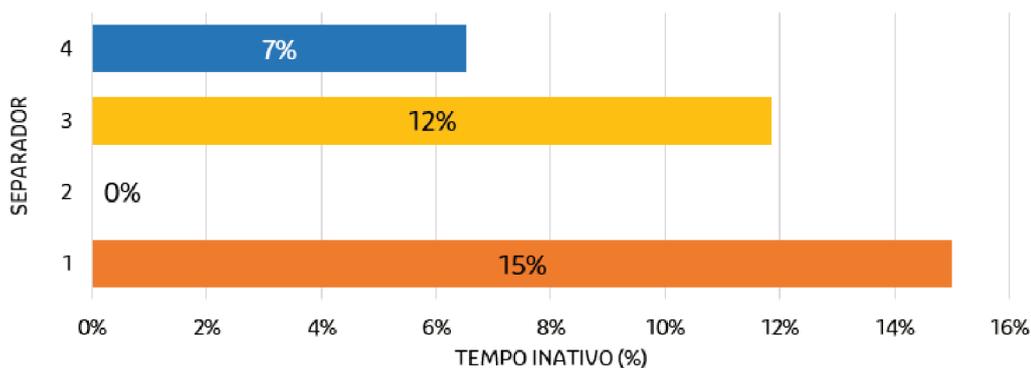
período inferior a 1.500 segundos, sendo que o funcionário que possui o maior tempo de separação é o funcionário 2, finalizando suas atividades em aproximadamente 1.462 segundos. Os tempos de coleta por separador são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 – Tempo de coleta por separador do cenário proposto A

Separador	1	2	3	4
Tempo de coleta (s)	1.242,6	1.462	1.288,5	1.366,7

Conforme o Gráfico 21 e a Tabela 12, neste cenário a escala de trabalho está balanceada em relação aos demais cenários e que a finalização de todas as ordens de coleta se encerra após 1.462 segundos e que, durante esse tempo, neste cenário, o tempo inativo dos demais funcionários é baixo, atingindo no máximo 15% como demonstra o Gráfico 22.

Gráfico 22 – Tempo inativo por separador do cenário proposto A



Fonte: Autoria própria.

3.4.6 Cenário alocação de itens proposta B - *picking* por zona

O sexto cenário, denominado de *cenário proposto B*, representa a atividade de “*picking* por zona”, utilizando a nova alocação de itens disposta pelo trabalho, conforme o novo mapa térmico apresentado na Figura 12. Neste cenário será utilizada a mesma divisão do CD utilizada pelo *cenário atual B*, apresentado na Seção 3.4.2.

Dessa maneira, a partir da divisão do Centro de Distribuição em quatro zonas distintas (apresentadas na Seção 3.4.2), definiu-se uma zona de atendimento por separador, visto que as zonas foram dimensionadas de modo a equilibrar o volume de separação entre os funcionários, sendo que a zona laranja (1) é destinada ao separador 1, a zona verde (2) refere-se a atuação do separador 2, o separador 3 deve coletar os itens presentes na zona amarela (3) e, por fim, a zona azul (4) fica sob responsabilidade do separador (4).

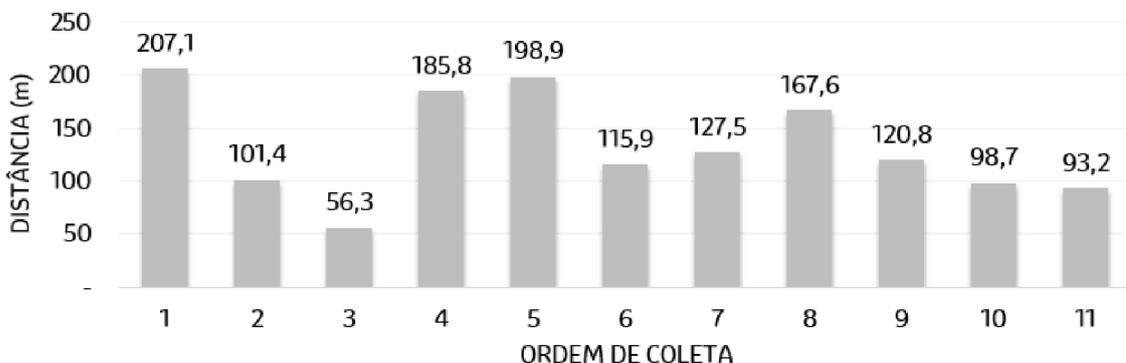
A partir desta separação do CD, as ordens de coleta originais utilizadas pela empresa foram divididas pelas zonas de atendimento e formaram novas 11 ordens de coletas onde cada ordem possui itens somente de uma zona de atendimento. Foi necessário estabelecer uma ordem de coleta a mais que os demais cenários em função do grande volume de separação para a zona 3, onde, para não extrapolar a capacidade volumétrica de uma ordem de coleta, foi necessário gerar uma nova ordem. As novas ordens que são utilizadas neste cenário são apresentadas na Tabela 13.

Tabela 13 – Ordens de coleta do cenário proposto B

Ordem de coleta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Zona	1	2	3	4	1	2	3	4	3	2	3
nº itens	13	20	20	18	13	21	20	17	21	23	22

Estas ordens foram avaliadas pelo modelo de avaliação de desempenho, apresentado na Seção 3.3, e então, foi possível definir as distâncias das rotas para cada uma das novas ordens de coleta geradas. As distâncias para cada ordem de coleta são apresentadas no Gráfico 23.

Gráfico 23 – Distâncias das rotas de coleta por ordem do cenário proposto B



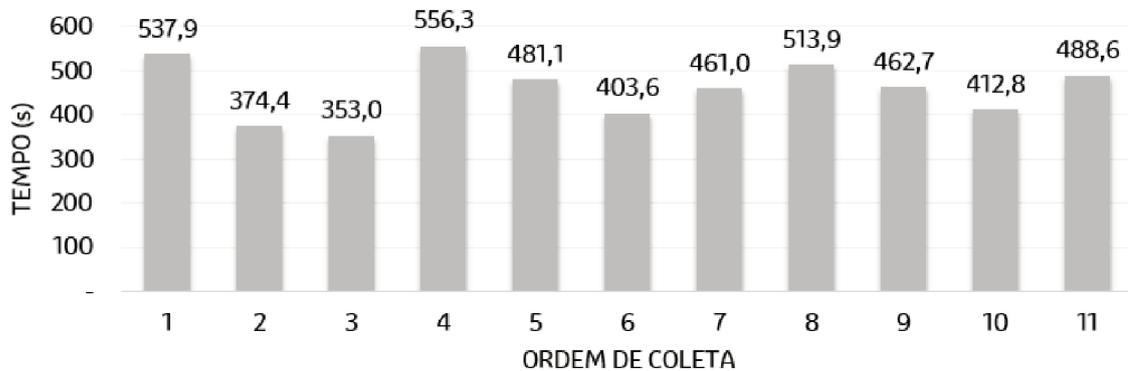
Fonte: Autoria própria.

É possível observar no Gráfico 23 que, em relação ao *cenário atual B*, as distâncias das ordens de coleta foram reduzidas em média em 24%. Isso se deve à nova alocação de itens proposta pelo trabalho, onde foi possível aproximar os itens de maior demanda próximos ao ponto inicial e final das rotas de coleta, o ponto de *checkout*.

Com as distâncias de cada rota é possível calcular o tempo total gasto para a realização de cada ordem de coleta, levando-se em consideração o deslocamento necessário para atendimento da ordem e o manuseio dos materiais. Os tempos de

coleta por ordem são apresentados no Gráfico 24.

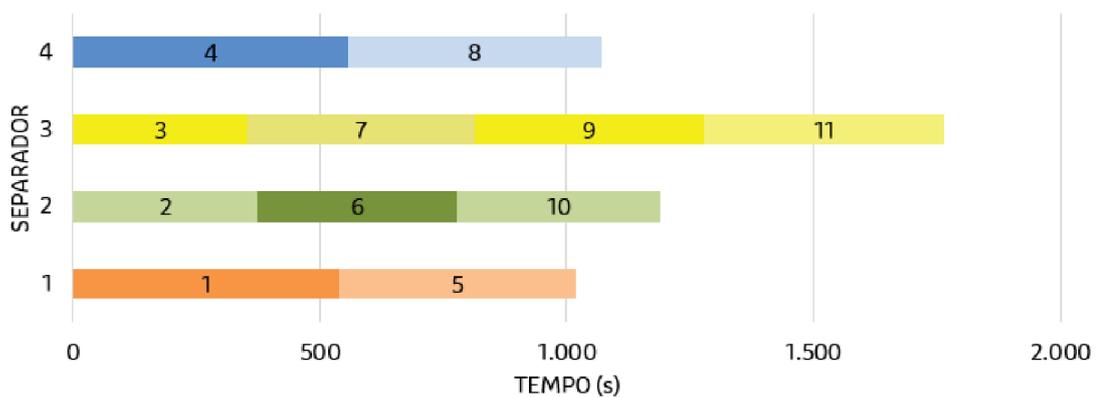
Gráfico 24 – Tempos de coleta por ordem do cenário proposto B



Fonte: Autoria própria.

A partir dos tempos de separação de cada ordem, definiu-se as escalas de trabalho para cada um dos separadores, respeitando a ideia básica do “*picking por zona*”, onde cada separador é responsável pelas ordens contendo itens de sua zona de atuação. Dessa maneira, a escala de separação para o *cenário proposto B* é apresentada no Gráfico 25.

Gráfico 25 – Escala de separação do cenário proposto B



Fonte: Autoria própria.

É possível perceber que devido à maior demanda de itens contidos na zona 3, o separador responsável por estes produtos é o que possui a maior demanda, finalizando sua atividade em 1.765,4 segundos. Os tempos totais de coleta de cada separador são apresentados na Tabela 14.

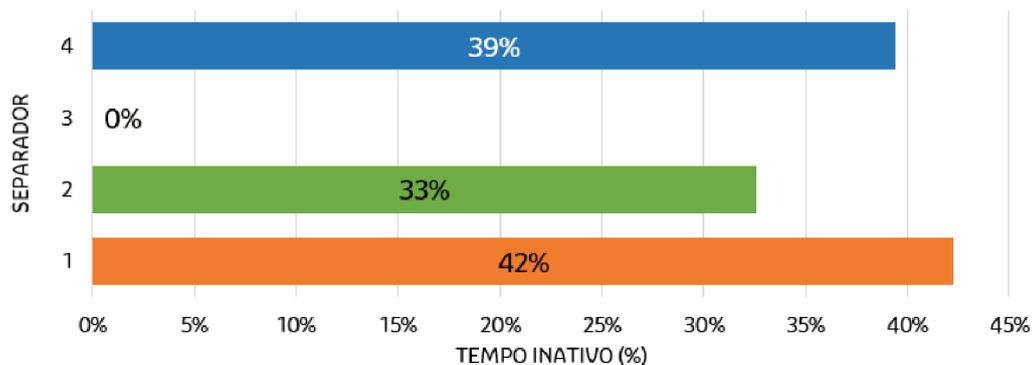
No que se refere ao tempo de coleta de cada um dos separadores, ocorre um

Tabela 14 – Tempo de coleta por separador do cenário proposto B

Separador	1	2	3	4
Tempo de coleta (s)	1.019	1.190,8	1.765,4	1.070,1

desbalanço devido às diferentes demandas de cada zona. Dessa maneira, os demais separadores possuem grande tempo inativo em relação ao tempo trabalhado pelo separador 3. A porcentagem de tempo inativo em relação ao tempo total de coleta das ordens por separador é apresentada no Gráfico 26.

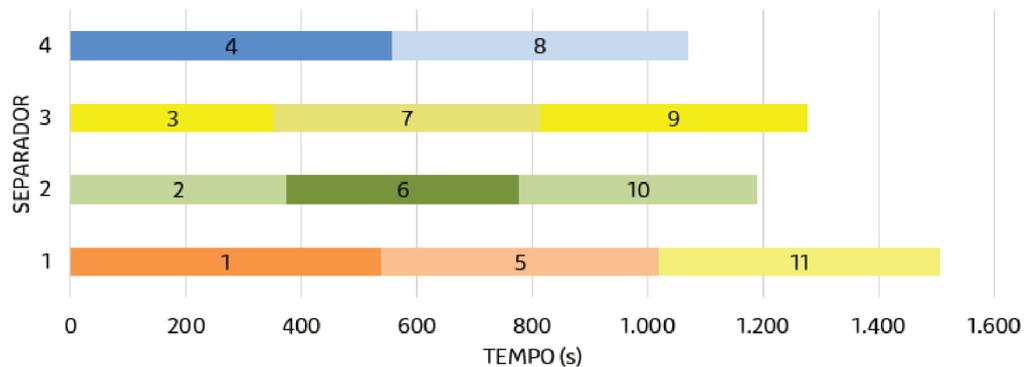
Gráfico 26 – Tempo inativo por separador do cenário proposto B



Fonte: Autoria própria.

Desse modo, visto que os separadores 1, 2 e 4 ficam em média entre 33% e 42% do tempo inativos, sugere-se, da mesma maneira apresentada no *cenário atual B* (Seção 3.4.2), uma alteração na escala de trabalho, priorizando a redução do tempo total de coleta das ordens em relação a segregação do atendimento das ordens por zonas do CD. A alteração realizada refere-se à atuação do separador 1 na ordem de coleta 11, que seria realizada pelo separador 3. Dessa maneira, a nova escala de separação, por funcionário, é apresentada no Gráfico 27.

Gráfico 27 – Escala de separação do cenário proposto B - após alteração



Fonte: Autoria própria.

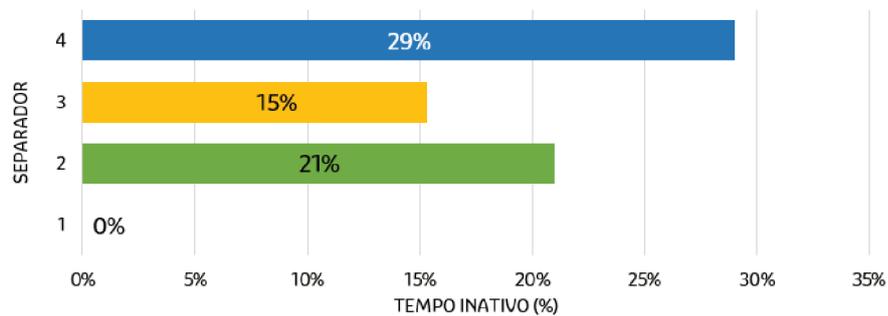
Em função da alteração da escala de separação foi possível reduzir o tempo total da coleta das ordens de 1.765,4 segundos (s) para 1.507,6 (s), uma redução de quase 15% do tempo de trabalho. Os novos tempos de coleta por separador, após a alteração, são apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 – Tempo de coleta por separador do cenário proposto B - após alteração

Separador	1	2	3	4
Tempo de coleta (s)	1.507,6	1.190,8	1.276,7	1.070,1

Observa-se no Gráfico 27 e na Tabela 15 que o separador 1 passa a ser o que possui maior tempo total de coleta, porém, ainda inferior ao apresentado pelo separador 4 na metodologia de “*picking* por zona” original. Dessa maneira, foi possível reduzir os tempos inativos dos demais funcionários não envolvidos na alteração. As porcentagens de tempo inativo por separador, após a alteração, são apresentados no Gráfico 28.

Gráfico 28 – Tempo inativo por separador do cenário proposto B - após alteração



Fonte: Autoria própria.

3.4.7 Cenário alocação de itens proposta C - picking por lote

O *cenário proposto C* refere-se à simulação do processo segundo a metodologia de “*picking por lote*”, considerando a alocação de itens proposta pelo trabalho, apresentada no mapa térmico (Figura 12). Este cenário possui a mesma metodologia de *picking* do *cenário atual C*, diferindo somente da posição dos materiais no CD.

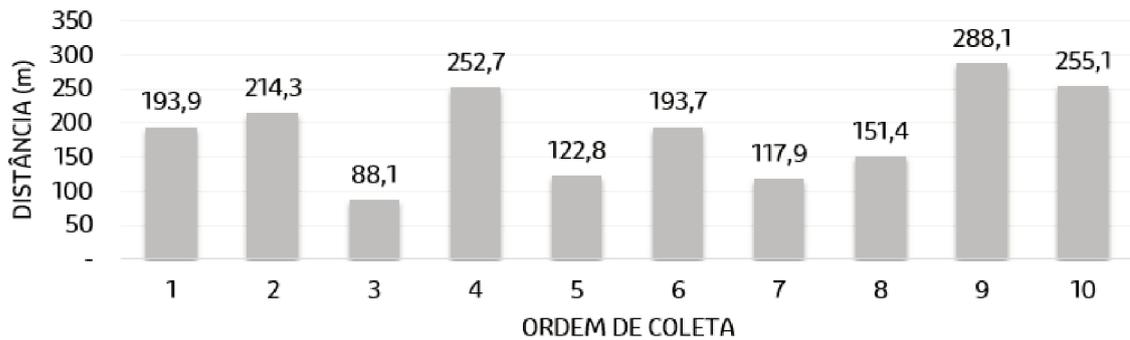
Para este cenário, foram utilizadas as mesmas ordens de coleta apresentadas no *cenário atual C*, sendo que a posição de cada um desses itens no Centro de Distribuição foi alterada. Dessa maneira as ordens de coleta do *cenário proposto C* são apresentadas conforme a Tabela 16.

Tabela 16 – Ordens de coleta do cenário proposto C

Ordem de coleta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
nº itens	17	20	15	19	18	20	15	19	20	21

Do mesmo modo utilizado para os demais cenários, utilizou-se o modelo de avaliação de desempenho apresentado na Seção 3.3 com o intuito de calcular as melhores rotas de coleta para cada uma das ordens e suas respectivas distâncias. Portanto, as distâncias encontradas pelo modelo são apresentadas no Gráfico 29.

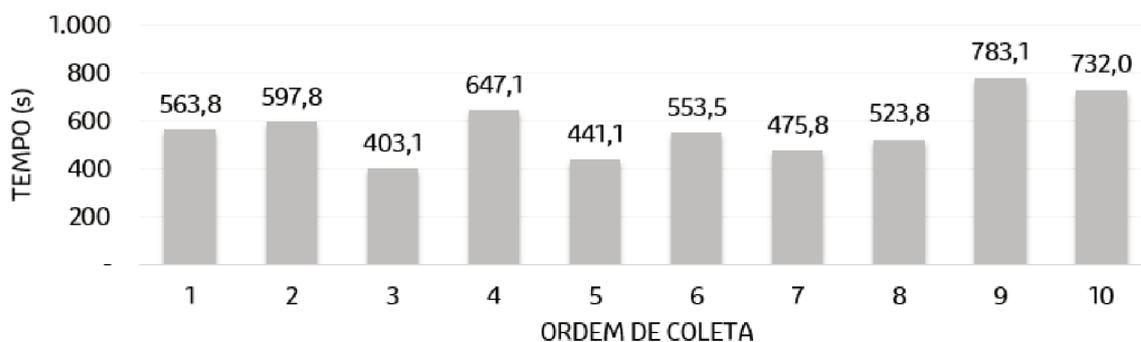
Gráfico 29 – Distâncias das rotas de coleta por ordem do cenário proposto C



Fonte: Autoria própria.

Tendo como parâmetro um ritmo de atendimento constante do início ao final da coleta e idêntico para todos os funcionários, foi possível calcular o tempo total de coleta para cada uma das ordens, considerando o tempo de deslocamento e o tempo de manuseio dos produtos. Dessa forma, o tempo de coleta de cada ordem do *cenário proposto C* é apresentado no Gráfico 30.

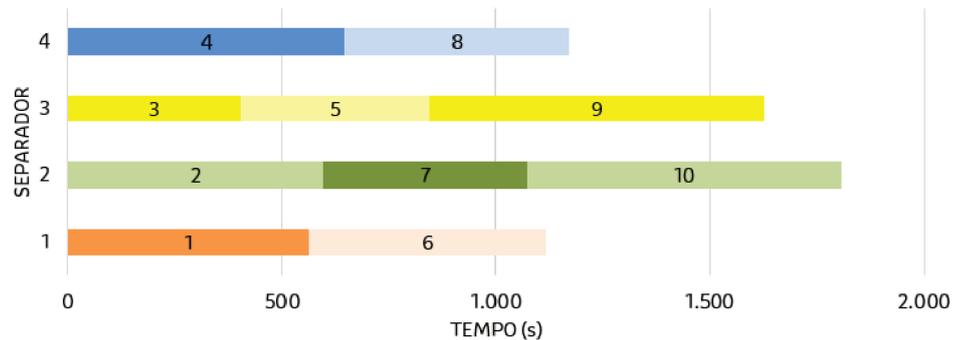
Gráfico 30 – Tempos de coleta por ordem do cenário proposto C



Fonte: Autoria própria.

Assim como nos cenários apresentados anteriormente, cada funcionário é responsável por uma ordem de coleta e deverá realizar a separação de todos os itens contidos nessa ordem e finalizá-la para começar o *picking* da próxima ordem. Portanto a escala de separação para cada funcionário é apresentada no Gráfico 31.

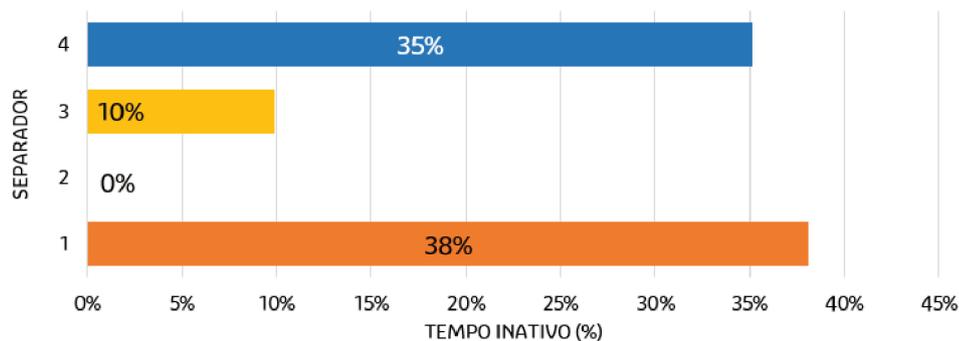
Gráfico 31 – Escala de separação do cenário proposto C



Fonte: Autoria própria.

Desse modo, a partir da escala de separação de cada funcionário, foi possível definir a porcentagem de tempo inativo de cada separador em função do tempo total gasto para realizar o *picking* das dez ordens de coleta. As porcentagens de tempo inativo por separador são apresentadas no Gráfico 32.

Gráfico 32 – Tempo inativo por separador do cenário proposto C



Fonte: Autoria própria.

Como é possível perceber no Gráfico 31, o separador 2 é o que possui o maior tempo total de coleta, aproximadamente 1.805 segundos sendo, portanto, o tempo total de coleta do *cenário proposto C*. O tempo de coleta por funcionário para o presente cenário é exposto na Tabela 17.

Tabela 17 – Tempo de coleta por separador do cenário proposto C

Separador	1	2	3	4
Tempo de coleta (s)	1.117,3	1.805,6	1.627,3	1.1170,9

3.4.8 Cenário alocação de itens proposta D - *picking* por onda

O último cenário a ser considerado, denominado *cenário proposto D*, representa a simulação da metodologia de “*picking* por onda”, tendo como princípio a alocação dos itens proposta pelo trabalho, apresentado no mapa térmico (Figura 12). Nesta metodologia, simulou-se ondas de atendimento onde, a partir das ordens de coleta originais utilizadas pela empresa, agrupou-se itens comuns entre elas gerando novas 10 ordens de coleta.

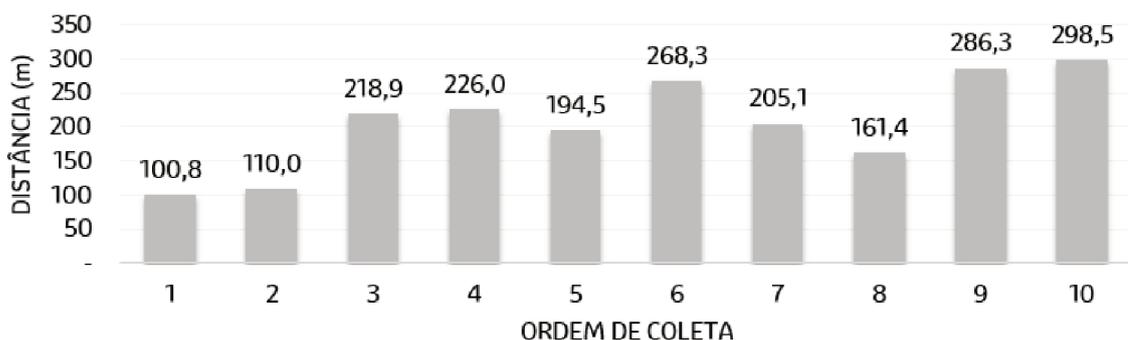
Dessa maneira foi possível diminuir o número de itens por ordem de coleta, reduzindo o a distância total percorrida pelos separadores no Centro de Distribuição. As novas ordens de coleta e a quantidade de itens em cada uma deles são apresentadas na Tabela 18.

Tabela 18 – Ordens de coleta do cenário proposto D

Ordem de coleta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
nº itens	13	13	15	18	12	16	13	10	19	19

Utilizando o modelo de avaliação de desempenho apresentado na Seção 3.3, foi possível gerar as rotas de caminho mínimo para realizar o *picking* das ordens de coleta e suas respectivas distâncias. As distâncias de cada rota de coleta para o presente cenário são apresentadas no Gráfico 33.

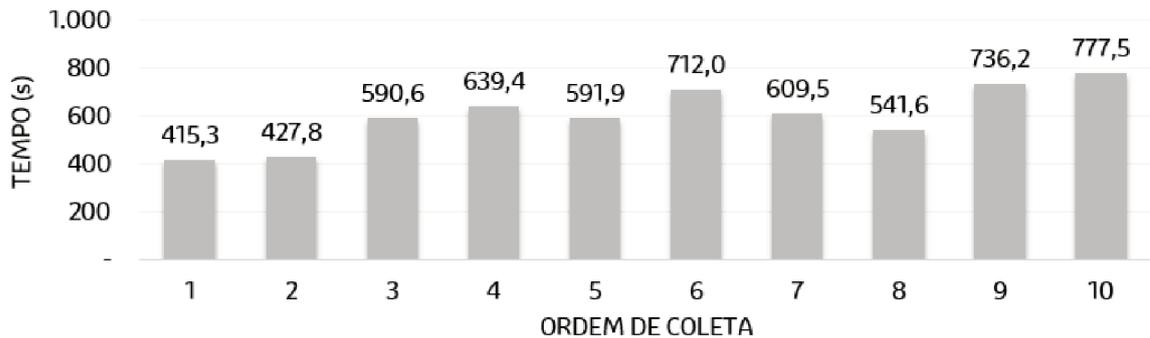
Gráfico 33 – Distâncias das rotas de coleta por ordem do cenário proposto D



Fonte: Autoria própria.

Levando em consideração um ritmo de trabalho constante para todos os separadores, foi possível definir o tempo de coleta para cada uma das ordens, levando em consideração as distâncias apresentadas na Figura 33 e o tempo de manuseio dos materiais. Desse modo, os tempos de coleta para cada uma das ordens são apresentados no Gráfico 34.

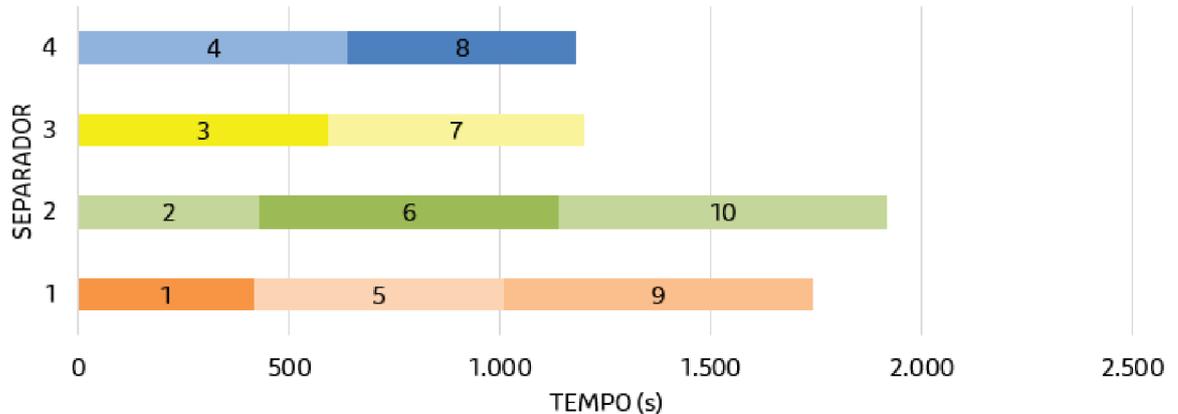
Gráfico 34 – Tempos de coleta por ordem do cenário proposto D



Fonte: Autoria própria.

Considera-se que, da mesma maneira abordada nos demais cenários, cada funcionário é responsável por uma ordem de coleta sendo que só poderá iniciar a coleta de outra ordem quando finalizar a atual. Dessa maneira foi possível definir uma escala de separação, apresentada no Gráfico 35.

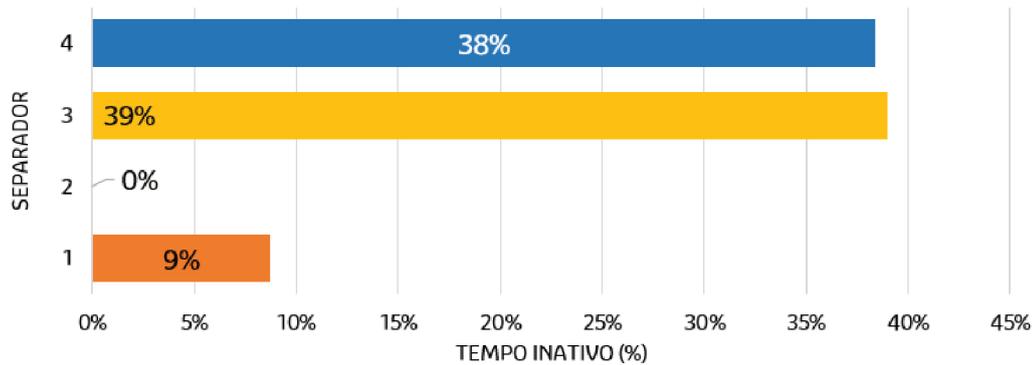
Gráfico 35 – Escala de separação do cenário proposto D



Fonte: Autoria própria.

Como é possível observar no Gráfico 35, o separador 2 é o que possui o maior tempo de coleta, seguido pelo separador 1. Os demais separadores possuem uma ordem de coleta a menos para realizar o atendimento e por isso possuem tempo total inferior. A porcentagem de tempo inativo dos separadores para o *cenário proposto D* é apresentada na Figura 36.

Gráfico 36 – Tempo inativo por separador do cenário proposto D



Fonte: Autoria própria.

Portanto, o tempo total de coleta que é necessário pelo presente cenário é de 1.917,3 segundos, sendo o tempo realizado pelo separador 2. O tempo necessário para cada separador finalizar suas atividades é apresentado na Tabela 19.

Tabela 19 – Tempo de coleta por separador do cenário proposto D

Separador	1	2	3	4
Tempo de coleta (s)	1.743,3	1.917,3	1.200,1	1.181

De modo a avaliar e comparar os cenários apresentados, no próximo capítulo serão apresentadas análises de modo a determinar a melhor configuração para a atividade de *picking* realizada pela empresa em seu Centro de Distribuição.

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

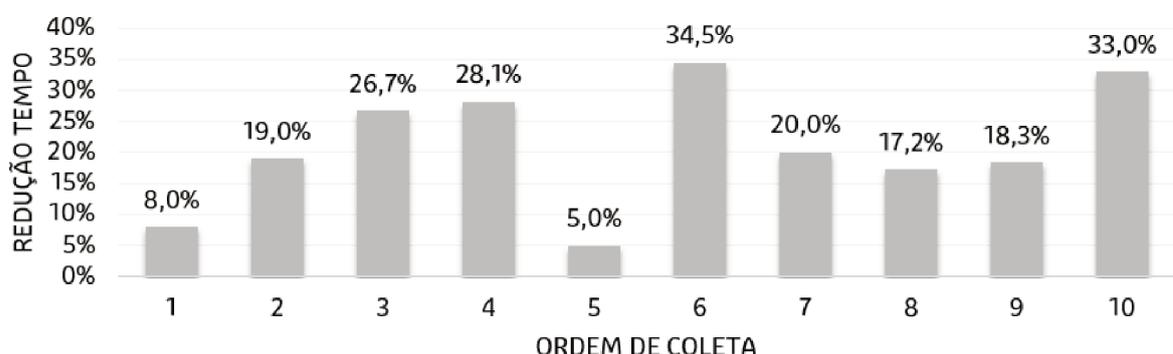
Neste capítulo serão analisados os resultados apresentados para cada cenário da seção anterior. Para efeito de avaliação do novo mapa térmico proposto pelo trabalho, primeiramente serão avaliados os cenários que correspondem a mesma metodologia de *picking* e por fim uma avaliação final em relação ao tempo total gasto para a realização do processo.

4.1 Análise do Cenário atual A x Cenário proposto A

A primeira análise realizada refere-se aos cenários que consideram a metodologia de “*picking* discreto”, os cenários *atual A* e *proposto A*. Devido a utilização de uma mesma metodologia de trabalho, é possível definir o impacto da nova alocação de produtos no CD da empresa na realização da atividade.

Para analisar o impacto da alteração do mapa térmico da empresa, comparou-se os tempos totais e as distâncias para cada uma das ordens de coleta dos cenários. Vale destacar que os dois cenários utilizaram as mesmas ordens de coleta, incluindo os itens contidos nelas, alterando somente a posição destes itens no CD. Dessa maneira, a redução nos tempos de coleta do *cenário proposto A* em relação ao *cenário atual A* é apresentada no Gráfico 37.

Gráfico 37 – Redução no tempo de coleta entre os cenários proposto A e atual A



Fonte: Autoria própria.

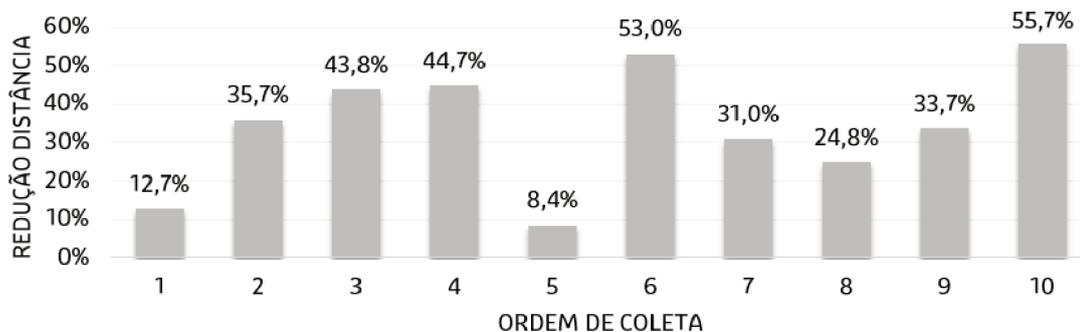
Conforme indicado no Gráfico 37, a redução no tempo de coleta das ordens entre os cenários *proposto A* e *atual A* varia entre 5% e 34,5%. Essa redução quando

analisada no contexto geral, ou seja, considerando o tempo total de trabalho para a realização do *picking* das 10 ordens, é de aproximadamente 23%.

A redução do tempo pode ser utilizada para adiantar o processo de separação das ordens de coleta do turno seguinte ou ainda podendo utilizar esse tempo para a realização das demais atividades no CD, como inventário, *checkout* etc.

Assim como no tempo total de coleta, foi possível notar redução na distância total percorrida pelos funcionários para a realização do *picking* das mesmas 10 ordens de coleta entre os cenários avaliados. Isso se deve à nova alocação dos produtos nas posições de armazenagem do CD proposto pelo novo mapa térmico, apresentado na Figura 12. A redução das distâncias de coleta percorrida no *cenário proposto A* em relação ao *cenário atual A* é apresentada no Gráfico 38.

Gráfico 38 – Redução na distância de coleta entre os cenários proposto A e atual A



Fonte: Autoria própria.

Como é possível observar no Gráfico 38, foi possível reduzir a distância percorrida em até 55,7% para a ordem de coleta 10. Essa redução de distância gera um aumento na produtividade do *picking* visto que os funcionários devem percorrer distâncias menores para efetuar a mesma atividade.

Considerando a distância total percorrida nos dois cenários, foi possível reduzir em 32% o deslocamento dos funcionários para a realização da atividade de *picking* para as mesmas ordens de coleta. Isso demonstra a importância da alocação correta dos itens a respeito da distância até o ponto de *checkout*.

Em relação à diferença no tempo total de separação entre os cenários, ou seja o tempo para que os separadores realizem a coleta das 10 ordens, foi possível reduzir aproximadamente 25% do tempo de trabalho do *cenário atual A* para o *cenário proposto A*. Essa redução representa aproximadamente 504 segundos para um determinado período do primeiro turno de trabalho da empresa.

Levando em consideração o aspecto econômico dessa redução, sendo que um funcionário que realiza a atividade de *picking* possui um salário de R\$6,00/h, sendo um

salário mensal aproximado de R\$1.200,00, de acordo com pesquisa realizada no SINE (2017), é possível obter uma redução de aproximadamente R\$9.677,00 por mês. A partir da hipótese de que os custos que a empresa possui ao manter um funcionário se equivalem a aproximadamente o dobro do seu salário, é possível definir que a diferença entre os tempos de coleta permite a redução de até 4 separadores.

4.2 Análise do Cenário atual B x Cenário proposto B

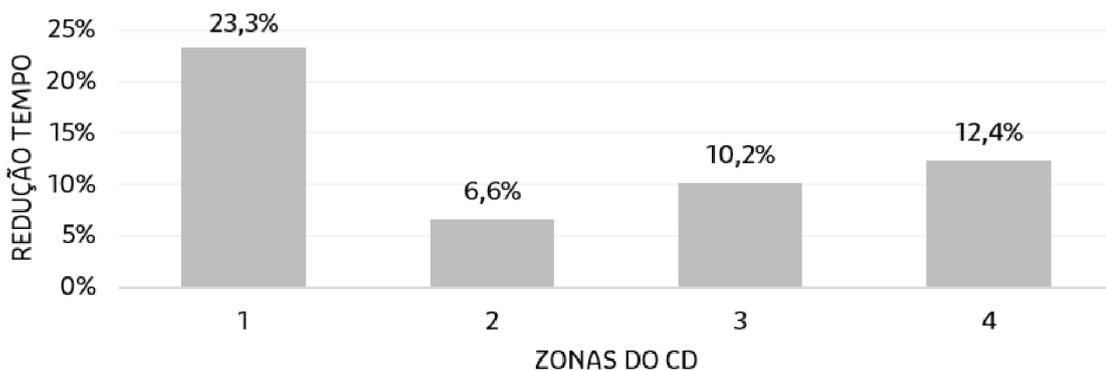
A segunda análise apresentada refere-se à comparação entre os cenários que utilizam a metodologia de “*picking* por zona”. A comparação entre o *cenário atual B* e o *cenário proposto B* resulta na análise das diferenças relativas à nova alocação dos produtos no CD da empresa conforme o mapa térmico proposto pelo trabalho.

Utilizando a metodologia de “*picking* por zona” é possível obter uma redução na distância média das ordens de coleta, visto que a ideia do método é de manter os itens de uma ordem de coleta mais próximos, ou seja, dentro de uma mesma zona.

Além disso, esse método tende a obter melhor eficiência no processo de *picking*, visto que o funcionário está mais habituado aos itens presentes em sua zona de coleta e, portanto, tende a reduzir o tempo de manuseio de materiais. A análise destes cenários não pode ser aberta por ordens de coleta visto que devido a nova alocação dos produtos foi necessário utilizar diferentes ordens para cada um dos cenários.

Dessa maneira, a avaliação entre os cenários *atual B* e *proposto B* é realizada considerando as divisões realizadas no CD, ou seja, zonas de atendimento apresentadas pela Figura 14 e pelo desempenho dos cenários na atividade geral, considerando o tempo total para finalizar a coleta das 10 ordens e a distância total percorrida pelos separadores. A redução do tempo de coleta entre os cenários é apresentada no Gráfico 39.

Gráfico 39 – Redução no tempo de coleta entre os cenários atual B e proposto B



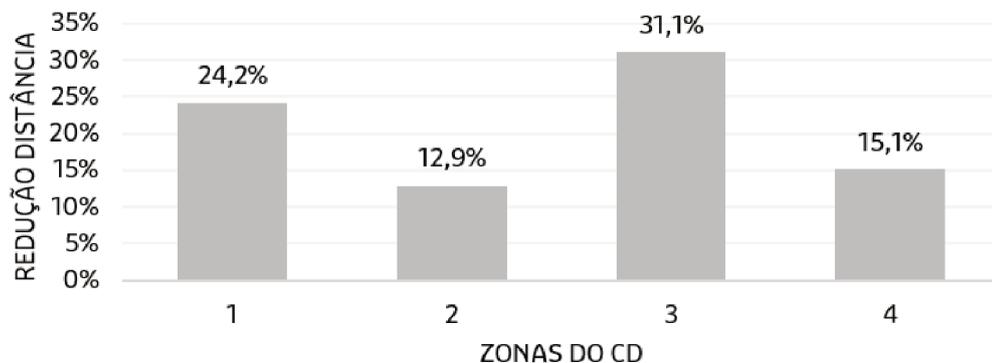
Fonte: Autoria própria.

Como é possível observar no Gráfico 39, a redução no tempo total de coleta variou entre 6,6%, na zona 2 (zona central), e 23,3%, na zona 1 (zona lateral). Também é possível perceber que em todas as zonas houve redução no tempo de coleta, resultando numa redução do tempo total de coleta das ordens.

O tempo total de coleta das ordens representa em quanto tempo as 10 ordens de coleta analisadas foram separadas utilizando os quatro separadores disponíveis para o turno de atendimento. Portanto, esse tempo contabiliza desde o momento de início de coleta da primeira ordem até o momento em que é finalizada a coleta da última ordem. Esse tempo reduziu de 1.966 segundos no *cenário atual B* para 1.507,6 segundos no *cenário proposto B*, o que representa uma redução de aproximadamente 23% do tempo total de coleta.

Essa redução do tempo, considerando um salário de R\$6,00/h para os separadores, representa uma economia de aproximadamente R\$8.800,52 mensais. Esse valor representa o gasto da empresa com até 3 funcionários, possibilitando a redução de mão de obra. Da mesma maneira, a comparação entre os cenários no que se refere à redução da distância média percorrida por zona entre os cenários é apresentada no Gráfico 40.

Gráfico 40 – Redução na distância média entre os cenários atual B e proposto B



Fonte: Autoria própria.

Conforme apresentado no Gráfico 40, foi possível obter redução na distância média percorrida entre 12,9%, na zona 2 (zona central), e 31,1%, na zona 3 (zona central). Quando analisada a distância total percorrida pelos separadores, obteve-se redução de aproximadamente 24,5% entre o *cenário atual B* e o *cenário proposto B*.

4.3 Análise do Cenário atual C x Cenário proposto C

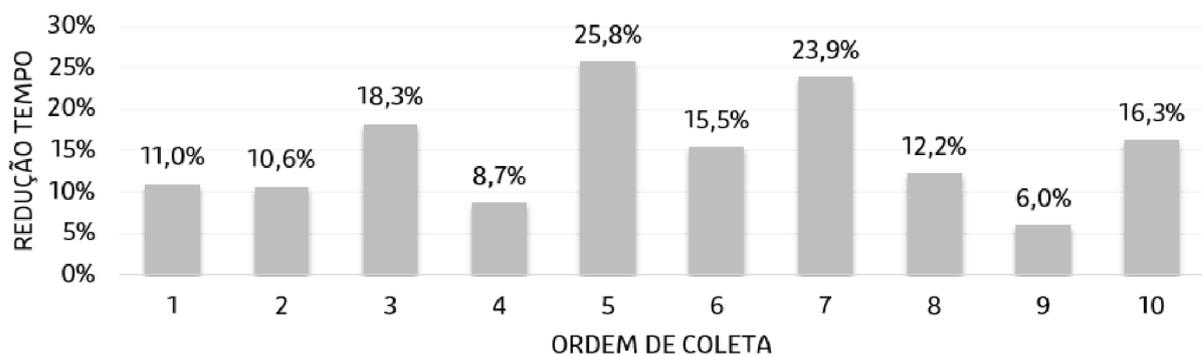
A terceira análise apresentada faz referência à redução obtida no tempo e distância de coleta do *cenário proposto C* em relação ao *cenário atual C*. Os dois

cenários referem-se à da metodologia de “*picking* por lote” e teve como princípio básico a criação de novas 10 ordens contendo lotes de produtos das ordens originais com o intuito de reduzir a quantidade de itens por ordem.

Essa metodologia possui restrição quando existe grande variedade de itens, como é o caso do estudo apresentado pelo trabalho. Nessas situações, esta metodologia não consegue ser aplicada da melhor maneira, visto que mesmo agrupando itens de diferentes ordens, a quantidade e variedade de itens dentro de uma mesma ordem de coleta ainda é grande, divergindo da característica básica da metodologia.

Porém, quando comparado somente os resultados entre os dois cenários C, o atual e o proposto, pode-se obter as melhoras operacionais obtidas pelo mapa térmico apresentado pelo trabalho na Figura 12. Deste modo, a redução no tempo de coleta entre os cenários proposto C e atual C são apresentadas no Gráfico 41.

Gráfico 41 – Redução no tempo de coleta entre os cenários atual C e proposto C

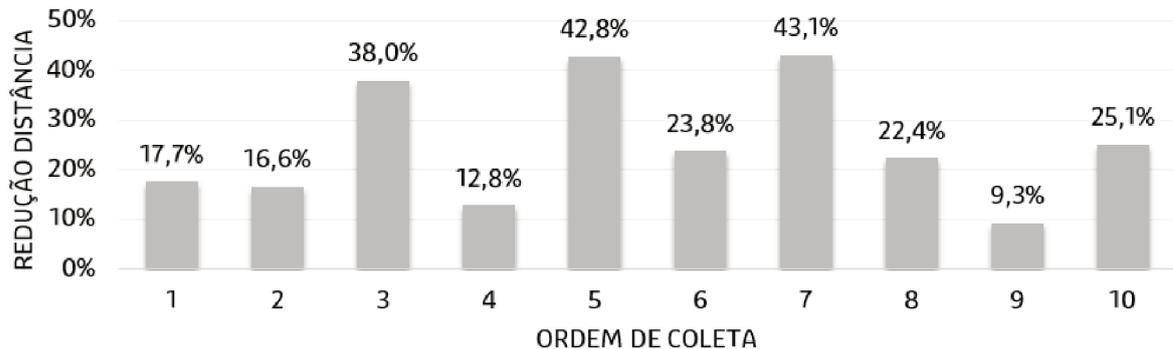


Fonte: Autoria própria.

Como é possível perceber no Gráfico 41, em todas as ordens de coleta utilizadas pelo trabalho houve redução do tempo de coleta entre o *cenário atual C* e *proposto C*. Essa redução variou entre 6%, na ordem 9 e 25,8%, na ordem 5, sendo que, em média, foi possível reduzir aproximadamente 14,8% do tempo de coleta das ordens.

Em relação ao tempo total de trabalho, obteve-se alteração de 2.162,7 segundos no *cenário atual C*, para 1.805,6 segundos no *cenário proposto C*, resultando em uma redução de aproximadamente 357 segundos, representando quase 17% do tempo de coleta do *cenário atual C*. Assim como nos tempos de coleta, houve redução nas distâncias percorridas pelos separadores, como mostra o Gráfico 42.

Gráfico 42 – Redução na distância de coleta C e proposto C



Fonte: Autoria própria.

Conforme apresentado no Gráfico 42, a redução de distância variou entre 9,3%, na ordem de coleta 9, e 43,1%, na ordem de coleta 7. A distância total foi reduzida em aproximadamente 575 metros, ou seja, 23,5% da distância de coleta realizada pelo cenário atual C.

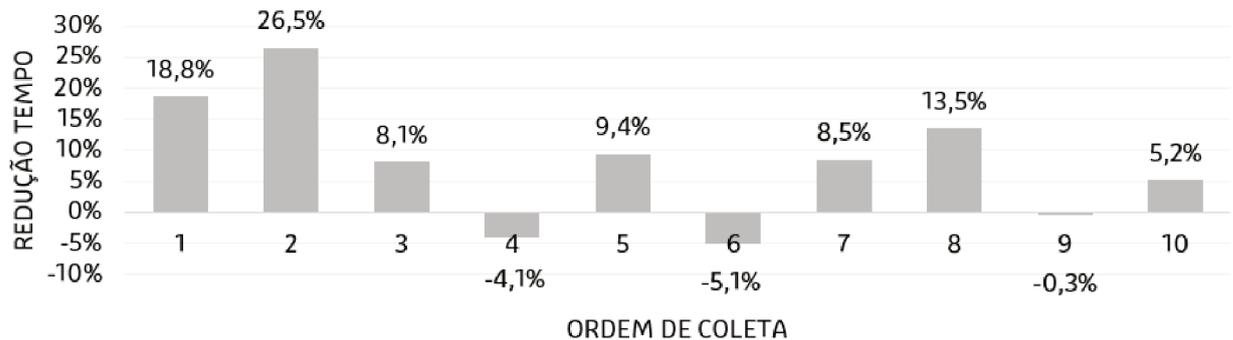
Em relação ao resultado econômico destas reduções, considerando o salário de um funcionário de *picking* sendo de R\$6,00/h e a redução de 14,4% do tempo de trabalho pode-se concluir que a alteração da posição dos itens no armazém da empresa resulta em uma economia mensal de aproximadamente R\$6.856,00. Essa redução possibilita o desligamento de até 2 separadores, considerando os custos trabalhistas que a empresa possui.

4.4 Análise do Cenário atual D x Cenário proposto D

A quarta análise realizada segue o mesmo modelo das anteriores, ou seja, comparando dois cenários que utilizam a mesma metodologia de *picking*, neste caso o “*picking* por onda”. Esta metodologia visa definir ondas, neste caso de 30 minutos, e durante este período agrupar o volume solicitado de itens a fim de minimizar a quantidade de vezes que um mesmo item precisa ser coletado.

Os cenários comparados são o cenário atual D e o cenário proposto D e, foi possível verificar redução no tempo de coleta da maioria das ordens selecionadas. O Gráfico 43 apresenta a redução de tempo de coleta do cenário proposto D comparado ao cenário atual D.

Gráfico 43 – Redução no tempo de coleta entre os cenários atual D e proposto D



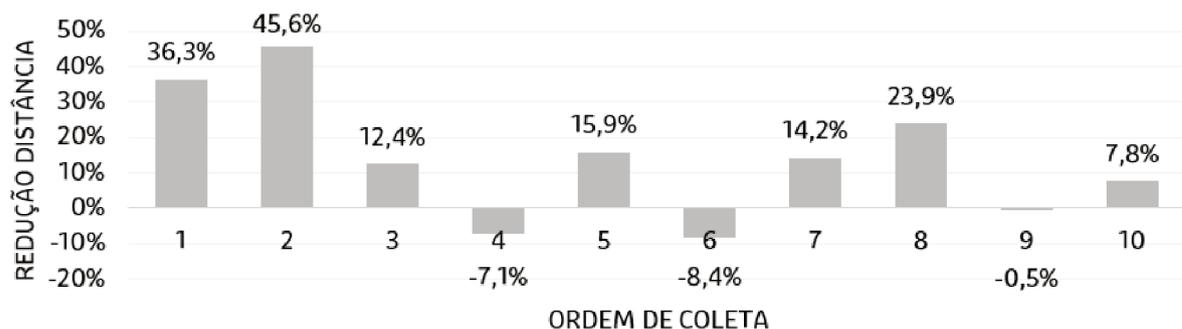
Fonte: Autoria própria.

Observa-se no Gráfico 43 que houve redução na maioria das ordens de coleta, variando entre 5,2%, na ordem 10, e 26,5% na ordem 2. Porém, nota-se também que houveram três casos de aumento no tempo de coleta, que variaram entre 0,3% de aumento da ordem 9 e 5,1% para a ordem 6.

Vale destacar que no aspecto geral, obteve-se uma melhoria média de 8% do tempo de coleta entre todas as ordens. No que se refere ao tempo total de coleta de todas as ordens, que passou de 2.079 segundos no *cenário atual D* para 1.917 segundos, nota-se uma melhora de aproximadamente 8%.

Essa redução no tempo de trabalho quando abordada do ponto de vista financeiro, considerando o salário de um funcionário que realiza a atividade de *picking* sendo R\$6,00/h, é possível obter uma economia de até R\$3.100,00 mensais. A partir desta economia, considerando os custos trabalhistas que a empresa possui para manter um funcionário, é possível definir que a empresa pode reduzir até 1 separador na comparação entre os dois cenários. Essa redução também pode ser percebida na diferença de distância de coleta entre os cenários. A redução na distância do *cenário proposto D* em relação ao *cenário atual D* é apresentada no Gráfico 44.

Gráfico 44 – Redução na distância de coleta entre os cenários atual D e proposto D



Fonte: Autoria própria.

Como é possível perceber no Gráfico 44, a redução de distância acompanha o mesmo padrão apresentado pela redução do tempo, Gráfico 43, onde a maioria das ordens de coleta tiveram redução, variando entre 7,8%, na ordem 10, e 45,6%, na ordem 2. Houve aumento da distância em três ordens, variando entre 0,5%, na ordem 9, e 8,4%, na ordem 6. Porém, quando se refere à distância total percorrida pelos funcionários, obteve-se uma redução de aproximadamente 12%.

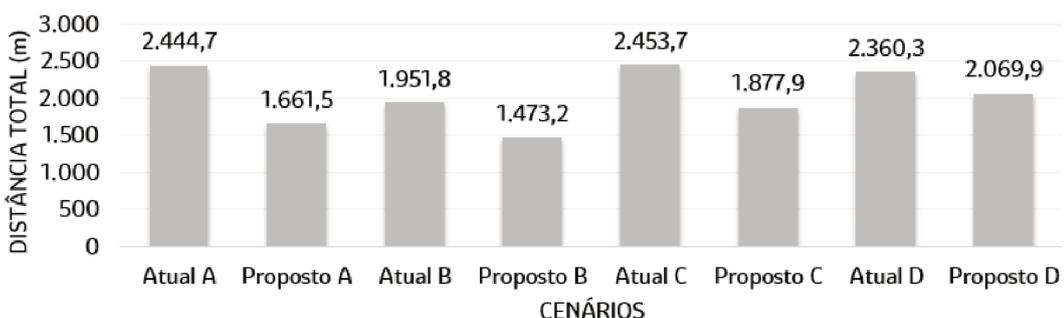
4.5 Avaliação geral entre todos cenários

Após analisar os cenários que utilizam a mesma metodologia de *picking* foi possível perceber que a alteração na posição dos itens pelo novo mapa térmico proposto pelo modelo desenvolvido neste trabalho de conclusão de curso apresentou melhorias na eficiência do processo de separação de itens no CD da empresa em estudo.

Desta forma, a análise a seguir apresenta uma visão geral de todos os cenários a fim de definir qual o melhor resultado pode ser obtido pela empresa no seu processo de *picking*. Os resultados avaliados referem-se ao tempo total de coleta, distância total de coleta e tempo inativo médio.

O primeiro indicador a ser analisado refere-se à distância total percorrida pelos funcionários para realizar o *picking* de todas as ordens de coleta do cenário. As distâncias de coleta de cada cenário são apresentadas pelo Gráfico 45.

Gráfico 45 – Comparação entre a distância total de coleta dos cenários



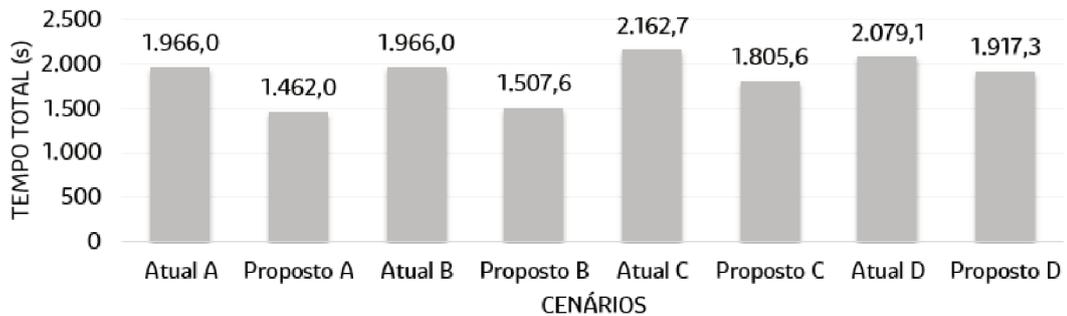
Fonte: Autoria própria.

Como é possível observar no Gráfico 45, o *cenário proposto B* é o que possui menor distância total percorrida pelos separadores. Isso se deve à utilização da metodologia de “*picking* por zona” que visa dividir o CD em zonas de coleta exclusivas para determinados separadores. Dessa forma, um mesmo separador precisa realizar a coleta de itens que estão localizados na sua zona, reduzindo a distância percorrida.

O cenário com a segunda menor distância total percorrida refere-se ao *cenário*

proposto A, que utiliza a metodologia de “*picking* discreto”, e possui uma distância total aproximadamente 11% superior ao *cenário proposto B*. O bom desempenho destes dois cenários também é visível quando se analisa o tempo total de coleta, apresentado no Gráfico 46.

Gráfico 46 – Comparação entre o tempo total de coleta dos cenários

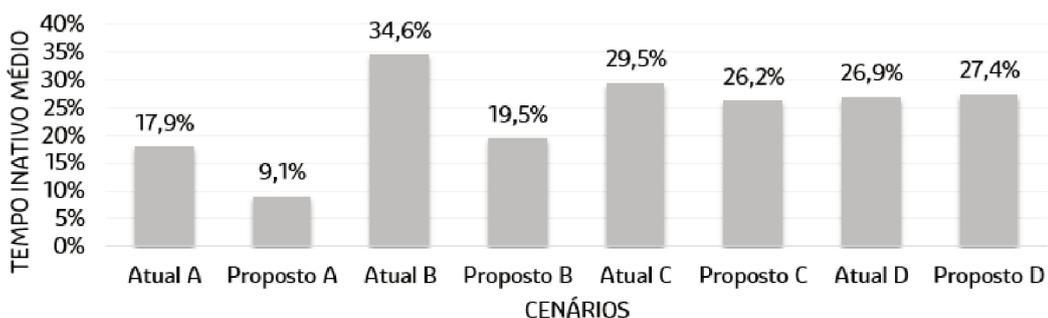


Fonte: Autoria própria.

Conforme o Gráfico 46, os dois cenários que possuem os melhores resultados, assim como na distância, são os cenários *proposto A* e *proposto B*. Porém, neste caso o *cenário proposto A* é o que possui menor tempo total de coleta, ou seja, o *picking* de todos os itens contidos nas ordens de coleta é finalizado mais rapidamente quando se utiliza a configuração abordada no *cenário proposto A*.

O *cenário proposto B*, que possui a menor distância total percorrida, apresenta o segundo menor tempo total de coleta, sendo aproximadamente 3% maior que o *cenário proposto A*. Essa diferença no tempo é resultado do acúmulo de volume de itens nas zonas 2 e 3, próximas ao *checkout*, sendo que o tempo de manuseio dos produtos pelos separadores destas zonas torna-se maior. Deste modo, o próximo indicador a ser analisado refere-se ao tempo inativo médio de cada cenário, apresentado no Gráfico 47.

Gráfico 47 – Comparação entre o tempo inativo médio dos cenários



Fonte: Autoria própria.

Como é possível perceber no Gráfico 47, os cenários *atual A* e *proposto A* foram os cenários com os menores tempos inativos médios, representando que a metodologia de “*picking* discreto” consegue equalizar a quantidade de trabalho entre todos os funcionários da separação.

Destaca-se também que o *cenário proposto B*, que possui bons resultados nos demais indicadores, também apresentou bom resultado em relação ao tempo médio inativo, visto que representa o terceiro menor valor entre todos os cenários.

Os cenários C e D não apresentaram melhoras significativas quando se comparado ao modelo de trabalho atual realizado na empresa (representado pelo *cenário atual A*). Assim, conforme apresentado na Seção 2.1.1, a metodologia de “*picking* por lote”, utilizada nos cenários *atual C* e *proposto C*, não apresentou resultados satisfatórios neste trabalho devido à grande variedade de itens presentes no portfólio da empresa em estudo. Além disso, as ordens de coleta utilizadas pela empresa possuem elevado volume de itens e isso também acaba prejudicando a eficiência operacional desta metodologia.

Da mesma forma, a metodologia utilizada nos cenários *atual D* e *proposto D*, “*picking* por onda”, também não apresentou bons resultados no estudo realizado. Isso se deve às características da metodologia, visto que a empresa possui um prazo curto para a realização do *picking*, gerando as ordens de coleta poucas horas antes do carregamento do veículo. Além disso, por agrupar quantidades de produtos de diferentes ordens de coleta, essa metodologia tende a aumentar o tempo de *checkout* (não considerado neste trabalho) dos produtos, visto que é necessário diferenciar produtos em uma mesma ordem de coleta que não serão expedidos no mesmo veículo.

Portanto, neste capítulo foram apresentadas as avaliações em torno dos resultados apresentados para cada cenário, de modo a identificar quais configurações conseguem otimizar o processo de separação de itens da empresa. O próximo capítulo visa apresentar as considerações finais do trabalho assim como sugestões de trabalhos futuros.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o intuito de manterem-se competitivas em relação ao mercado, surge a necessidade das empresas adequarem e otimizarem seus processos internos a fim de reduzir custos e aumentar o nível de serviço das atividades. Nesse contexto, um setor de extrema importância para as empresas refere-se ao Centro de Distribuição pois neste setor concentram-se atividades como *picking*, *checkout*, carregamento e expedição dos produtos. Falhas ou atrasos nesse processo afetam diretamente o cliente final, visto que a falta de produto ou atraso na entrega reduzem o nível de satisfação do cliente.

Dessa forma, este trabalho teve como objetivo apresentar propostas para a alocação de materiais e para a atividade de *picking* no Centro de Distribuição de uma empresa de tubos e conexões localizada em Joinville, utilizando ferramentas da Pesquisa Operacional por meio de modelos matemáticos.

Foram apresentados, por meio da revisão bibliográfica, diferentes metodologias de *picking*, testadas no estudo de caso apresentado, e diversas ferramentas quantitativas, como a Distância de Manhattan, Problema da Mochila, entre outras que auxiliaram na resolução do problema principal do trabalho.

Os conceitos da Distância de Manhattan e do Problema da Mochila foram utilizados com o objetivo de determinar uma nova alocação para os itens no armazém da empresa, aproximando os itens com maior demanda ao ponto de *checkout*. Essa alteração, conforme demonstrada na seção de Análise de Resultados foi capaz de minimizar a distância total percorrida pelos separadores em todos os cenários propostos em relação à alocação atual.

Para a avaliação de desempenho das quatro metodologias de *picking* apresentadas no trabalho utilizou-se os conceitos do Problema do Caixeiro Viajante de modo a definir uma rota de coleta que minimize a distância percorrida pelo separador responsável por uma determinada ordem de coleta. Deste modo foi possível definir o tempo de deslocamento para cada ordem, que somado ao tempo de manuseio dos itens, representa o tempo total para a coleta da ordem.

Assim, a partir de ferramentas que até então têm sido utilizadas historicamente na área de Engenharia de Transportes, a fim de otimizar serviços de coleta ou entrega de produtos, foi possível modelar um problema na área de logística no intuito de avaliar a eficiência do processo produtivo em um CD.

Após a análise dos resultados apresentados foi possível identificar que o

cenário com melhor resultado operacional é o *cenário proposto A*, que utiliza a alocação de itens proposta pelo novo mapa térmico apresentado pelo trabalho e a metodologia de “*picking* discreto”.

Este cenário foi o que apresentou os melhores resultados nos indicadores de tempo total de coleta e tempo médio inativo dos separadores. Além disso, a escolha deste cenário permite uma redução de aproximadamente 23% do tempo total de coleta em relação ao *cenário atual A*, que representa o cenário atual do processo efetuado pela empresa em estudo. Essa diminuição no tempo de coleta resulta em uma redução de aproximadamente R\$9.677,00 por mês, o que possibilitaria a redução de até quatro funcionários.

Porém, essa redução de funcionários pode afetar a produtividade da empresa nos períodos finais de cada mês, onde geralmente ocorre um pico no volume de vendas, gerando maior demanda de trabalho por parte dos separadores. Nesse caso, o presente trabalho sugere que estes separadores possam ser utilizados em outras atividades no CD e que, nos períodos de pico, auxiliem na atividade de *picking*.

Portanto, os resultados apresentados se mostraram satisfatórios, visto que todos os cenários propostos tiveram melhoras nos resultados de produtividade em relação aos cenários atuais, considerando a mesma metodologia de *picking* entre os cenários comparados. Isso se deve ao novo mapa térmico proposto pelo trabalho, que definiu novas posições de armazenagem para os itens da empresa, alocando os produtos com maior demanda próximos ao ponto de *checkout*, ponto de início e fim das rotas de coleta.

5.1 Trabalhos futuros

Desta forma, como expansão do presente trabalho, sugere-se ampliar os cenários de modelagem com maior número de ordens de coleta e diferentes *layouts* do CD a fim de verificar as relações das metodologias de *picking* quanto à diversas configurações das posições de armazenagem.

Além disso, outra proposta de expansão trata-se da avaliação específica de cada separador em relação a sua produtividade na atividade de *picking*. Com essa análise seria possível identificar os pontos fracos no processo, assim como qual funcionário precisa melhorar sua eficiência produtiva, além de tornar a análise dos resultados do problema em estudo mais realista.

Por fim, propõe-se simular a segmentação das ordens de coleta para que ao finalizar todas suas ordens, um funcionário possa auxiliar outro na finalização da coleta dos materiais. Para essa alteração, seria necessário um sistema de controle da atividade de *picking* que entenda e possibilite a segmentação de ordens de coleta, dividindo-a para mais de um funcionário.

REFERÊNCIAS

- ARENALES, M. *et al.* **Pesquisa Operacional para cursos de engenharias**. 6. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007. 524 p.
- ARYA, S. *et al.* An optimal algorithm for approximate nearest neighbor searching fixed dimensions. **Journal of the ACM (JACM)**, ACM, v. 45, n. 6, p. 891–923, 1998.
- BALLOU, R. H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos: logística empresarial**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman Editora, 2006. 616 p.
- BARROS, M. C. d. Warehouse management system (wms): conceitos teóricos e implementação em um centro de distribuição. **Rio de Janeiro: PUC-Rio**, 2005.
- BRYNZÉR, H.; JOHANSSON, M. I. Storage location assignment: Using the product structure to reduce order picking times. **International Journal of Production Economics**, Elsevier, v. 46, p. 595–603, 1996.
- CALADO, F. das M.; LADEIRA, A. P. Problema do caixeiro viajante: Um estudo comparativo de técnicas de inteligência artificial. **e-xacta**, v. 4, n. 1, 2011.
- CHEN, F. *et al.* An aco-based online routing method for multiple order pickers with congestion consideration in warehouse. **Journal of Intelligent Manufacturing**, Springer, v. 27, n. 2, p. 389–408, 2016.
- CHRISTOPHER, M. **Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos**. São Paulo: Cengage Learning, 2011. 332 p.
- COST, S.; SALZBERG, S. A weighted nearest neighbor algorithm for learning with symbolic features. **Machine learning**, Springer, v. 10, n. 1, p. 57–78, 1993.
- COVER, T.; HART, P. Nearest neighbor pattern classification. **IEEE transactions on information theory**, IEEE, v. 13, n. 1, p. 21–27, 1967.
- DANTZIG, G.; FULKERSON, R.; JOHNSON, S. Solution of a large-scale traveling-salesman problem. **Journal of the operations research society of America**, INFORMS, v. 2, n. 4, p. 393–410, 1954.
- DANTZIG, G.; ORDEN, A.; WOLFE, P. The generalized simplex method for minimizing a linear form under linear inequality restraints. **Pacific Journal of Mathematics**, Mathematical Sciences Publishers, v. 5, n. 2, p. 183–195, 1955.
- DANTZIG, G. B.; FULKERSON, D. R.; JOHNSON, S. M. On a linear-programming, combinatorial approach to the traveling-salesman problem. **Operations Research**, INFORMS, v. 7, n. 1, p. 58–66, 1959.
- DEERWESTER, S. *et al.* Indexing by latent semantic analysis. **Journal of the American society for information science**, American Documentation Institute, v. 41, n. 6, p. 391, 1990.

DEVROYE, L.; WAGNER, T. **Nearest neighbor methods in discrimination.** **Handbook of Statistics**, vol. 2, PR Krishnaiah and LN Kanal, eds. Holland: North-Holland, 1982.

DUDA, R. O.; HART, P. E. **Pattern Classification and Scene Analysis.** New York: Wiley, 1973.

ENGELS, C.; MANTHEY, B. Average-case approximation ratio of the 2-opt algorithm for the tsp. **Operations Research Letters**, Elsevier, v. 37, n. 2, p. 83–84, 2009.

ENGLERT, M.; RÖGLIN, H.; VÖCKING, B. Worst case and probabilistic analysis of the 2-opt algorithm for the tsp. In: SOCIETY FOR INDUSTRIAL AND APPLIED MATHEMATICS. **Proceedings of the eighteenth annual ACM-SIAM symposium on Discrete algorithms.** Philadelphia, PA, 2007. p. 1295–1304.

FAYYAD, U. M. *et al.* **Advances in knowledge discovery and data mining.** California: AAAI press Menlo Park, 1996. v. 21.

FIGUEIREDO, K.; ARKADER, R. Da distribuição física ao supply chain management: o pensamento, o ensino e as necessidades de capacitação em logística. **Revista Tecnológica**, v. 33, p. 16, 1998.

FLICKNER, M. *et al.* Query by image and video content: The qbic system. **computer**, IEEE, v. 28, n. 9, p. 23–32, 1995.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de pesquisa.** Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

GERSHO, A.; GRAY, R. M. **Vector quantization and signal compression.** Boston: Springer Science & Business Media, 2012. v. 159.

GIUSTINA, A. D. **O processo de expedição de um centro de distribuição de produtos acabados.** 2013. Monografia (Bacharel em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campus Medianeira.

GOLDBARG, M. C.; LUNA, H. P. L. **Otimização combinatória e programação linear: modelos e algoritmos.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

GU, J.; GOETSCHALCKX, M.; MCGINNIS, L. F. Research on warehouse operation: A comprehensive review. **European journal of operational research**, Elsevier, v. 177, n. 1, p. 1–21, 2007.

HASEGAWA, M.; IKEGUCHI, T.; AIHARA, K. Combination of chaotic neurodynamics with the 2-opt algorithm to solve traveling salesman problems. **Physical Review Letters**, APS, v. 79, n. 12, p. 2344, 1997.

HEDLER, F. **Global warehouse management: a methodology to determine an integrated performance measurement.** Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2015.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introdução à pesquisa operacional.** 9. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013. 1005 p.

- KOLHE, P.; CHRISTENSEN, H. Planning in logistics: A survey. **Proceedings of the 10th Performance Metrics for Intelligent Systems Workshop**, ACM, p. 48–53, 2010.
- KOSTER, R. d.; POORT, E. V. D. Routing orderpickers in a warehouse: a comparison between optimal and heuristic solutions. **IIE transactions**, Taylor & Francis, v. 30, n. 5, p. 469–480, 1998.
- LAI, K.; XUE, J.; ZHANG, G. Layout design for a paper reel warehouse: A two-stage heuristic approach. **International Journal of Production Economics**, Elsevier, v. 75, n. 3, p. 231–243, 2002.
- LIMA, T. C.; MIOTO, R. C. T. Procedimentos metodológicos na construção do conhecimento científico: a pesquisa bibliográfica. **Revista Katálisis**, SciELO Brasil, v. 10, n. 1, p. 37–45, 2007.
- OLIVEIRA, D. d. P. R. d. Planejamento estratégico: conceitos, metodologias e práticas. In: **Planejamento estratégico: conceitos, metodologias e práticas**. São Paulo: Atlas, 2010.
- PAN, J. C.-H.; WU, M.-H. A study of storage assignment problem for an order picking line in a pick-and-pass warehousing system. **Computers & Industrial Engineering**, Elsevier, v. 57, n. 1, p. 261–268, 2009.
- PETERSEN, C. G. An evaluation of order picking policies for mail order companies. **Production and operations management**, Wiley Online Library, v. 9, n. 4, p. 319–335, 2000.
- ROSENKRANTZ, D. J.; STEARNS, R. E.; LEWIS, P. M. An analysis of several heuristics for the traveling salesman problem. **SIAM journal on computing**, SIAM, v. 6, n. 3, p. 563–581, 1977.
- SILVA, G. Q. da *et al.* Análise de estratégias de *picking* aplicada a armazém de empresas de autopeças por meio de simulação discreta. **Simpósio em excelência em gestão da tecnologia**. Resende, RJ, 2015.
- SIMCHI-LEVI, D.; KAMINSKY, P.; SIMCHI-LEVI, E. **Cadeia de suprimentos projeto e gestão: conceitos, estratégias e estudos de caso**. Porto Alegre: Bookman Editora, 2010. 584 p.
- SINE. **Sistema Nacional de Empregos**. 2017. Disponível em: <<https://www.sine.com.br/>>. Acesso em: 30 de out. 2017.
- SIPPER, D.; BULFIN, R. L. **Production: planning, control, and integration**. 1. ed. Singapore: McGraw-Hill, 1997. 630 p.
- SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2009. 703 p.
- TOMPKINS, J. *et al.* **Facilities Planning**. New York, NY: Wiley, 1996.
- WANKE, P. **Gestão de estoques na cadeia de suprimento: decisões e modelos quantitativos**. São Paulo: Editora Atlas SA, 2011. 367 p.

YIN, R. K. **Estudo de Caso: Planejamento e Métodos**. Porto Alegre: Bookman editora, 2015.