

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

GUSTAVO MARQUES DE OLIVEIRA

**OTIMIZAÇÃO DA ALOCAÇÃO DE PRODUTOS USANDO
MODELAGEM MATEMÁTICA EM UM CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO
EM GOIÂNIA-GO**

**GOIÂNIA
2021**

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

GUSTAVO MARQUES DE OLIVEIRA

**OTIMIZAÇÃO DA ALOCAÇÃO DE PRODUTOS USANDO
MODELAGEM MATEMÁTICA EM UM CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO
EM GOIÂNIA-GO**

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: LOGÍSTICA
SUBÁREA: PROJETO E ANÁLISE DE SISTEMAS LOGÍSTICOS**

Trabalho apresentado à Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia de Produção, da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, como requisito final para aprovação na disciplina Projeto Final de Curso II.

Orientadora: Prof.^a Ma. Juliana Schmidt Galera

**GOIÂNIA
2021**

GUSTAVO MARQUES DE OLIVEIRA

**OTIMIZAÇÃO DA ALOCAÇÃO DE PRODUTOS USANDO
MODELAGEM MATEMÁTICA EM UM CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO
EM GOIÂNIA-GO**

Este trabalho foi julgado adequado e aprovado para a obtenção do título de graduação em Engenharia de Produção da Pontifícia Universidade Católica de Goiás

Goiânia, 02 de junho de 2021

Prof.^a Ma. Maria Ximena Vázquez F. Lima
Coordenadora do Curso de Engenharia de Produção

BANCA EXAMINADORA:



Prof.^a Ma. Juliana Schmidt Galera
Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Orientadora

Prof. Dr. Ricardo Caetano Rezende
Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Banca

Prof. Me. Vitor Hugo Martins e Resende
Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Banca

OBS.: Em decorrência do Período Letivo Remoto Extraordinário este documento conta apenas com a assinatura do Orientador, visto à impossibilidade de colher as demais assinaturas de membros da banca. O trabalho foi avaliado em Banca de Defesa pública, que aconteceu de forma Remota e Síncrona, pela plataforma *Teams*, no dia 02 de Junho de 2021, conforme registrado em Ata.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Operações Logísticas em armazéns.....	12
Figura 2 – Planta baixa do Centro de Distribuição.....	22
Figura 3 – Mapa de calor do cenário encontrado no CD da empresa	26
Figura 4 – Endereços que devem ser visitados para coleta do Pedido 1.....	28
Figura 5 – Endereços que devem ser visitados para coleta do Pedido 2.....	28
Figura 6 – Endereços que devem ser visitados para coleta do Pedido 3.....	29
Figura 7 – Algoritmo construído para otimizar a alocação dos produtos.....	31
Figura 8 – Mapa de calor da alocação otimizada pelo Problema da Mochila no CD da empresa	33
Figura 9 – Novos endereços que devem ser visitados para coleta do Pedido 1.....	35
Figura 10 – Novos endereços que devem ser visitados para coleta do Pedido 2.....	35
Figura 11 – Novos endereços que devem ser visitados para coleta do Pedido 3.....	36
Figura 12 - Distâncias totais percorridas em cada cenário proposto (em metros).....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Distâncias percorridas pelos separadores com a alocação utilizada na empresa e o método de <i>picking</i> discreto.....	31
Tabela 2 – Distâncias percorridas pelos separadores com a alocação utilizada na empresa e o método de <i>picking</i> por zona.....	31
Tabela 3 – Distâncias percorridas pelos separadores com a alocação otimizada e método de <i>picking</i> discreto.....	38
Tabela 4 – Distâncias percorridas pelos separadores com a alocação otimizada e método de <i>picking</i> por zona.....	38

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus por ter me abençoado nessa caminhada, sem essa benção nada seria possível.

Aos meus pais, principalmente à minha mãe, por terem me incentivado nesse objetivo.

Aos meus familiares e amigos pelo apoio nos momentos difíceis, em especial à minha tia Olga.

Aos meus professores pelo conhecimento compartilhado e por serem a minha referência profissional.

E à PUC Goiás pela oportunidade de formação acadêmica.

“Veni, vidi, vici”

(Júlio César)

RESUMO

OLIVEIRA, G. M. **OTIMIZAÇÃO DA ALOCAÇÃO DE PRODUTOS USANDO MODELAGEM MATEMÁTICA EM UM CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO EM GOIÂNIA-GO.** 2021. Trabalho de Conclusão de Curso – Escola de Engenharia da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2021.

A atividade de *picking* é a atividade mais importante em um Centro de Distribuição, empregando-se muitos recursos para torná-la mais eficiente. Buscou-se um método de *picking* que diminui-se a distância percorrida pelos separadores tornando a separação de pedidos mais rápida. Para isso, identificou-se os métodos de alocação de produtos e de *picking* que poderiam ser usados para essa análise. Avaliou-se o método de alocação dos produtos adotado na empresa e utilizou-se o Problema da Mochila para otimização dessa alocação no armazém, combinando cada alocação com o *picking* discreto e o *picking* por zona. A alocação otimizada pelo Problema da Mochila combinado com o *picking* por zona apresentou o melhor resultado entre os avaliados, com a redução da distância percorrida em 371,8 metros representando uma distância 37,8% menor que a do cenário adotado pela empresa. Esse resultado mostra a possibilidade de melhoria na *performance* da atividade, porém uma análise mais profunda de cada cenário poderá trazer respostas mais completas.

Palavras-chave: *Picking*; Pesquisa Operacional; Mapa de Calor; Problema da Mochila.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	10
CAPÍTULO 2 - REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1 GESTÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS	12
2.2 LOGÍSTICA EM CENTROS DE DISTRIBUIÇÃO	12
2.2.1 Recebimento	13
2.2.2 Armazenagem	13
2.2.3 Picking	14
2.2.3.1 Picking discreto	14
2.2.3.2 Picking por zona	15
2.2.3.3 Picking por lote	15
2.2.3.4 Picking por zona-lote	15
2.2.3.5 Picking por onda	15
2.2.4 Conferência e Expedição	16
2.3 EFICIÊNCIA OPERACIONAL E INDICADORES LOGÍSTICOS	16
2.4 CONCEITOS QUANTITATIVOS DE APOIO LOGÍSTICO	17
2.4.1 Problema do Caixeiro Viajante	17
2.4.2 Problema da Mochila	18
2.5 SOFTWARES E FERRAMENTAS PARA OTIMIZAÇÃO	19
2.6 TRABALHOS CORRELATOS	20
CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA DE PESQUISA	22
3.1 DESCRIÇÃO DA EMPRESA	22
3.2 ETAPAS DA PESQUISA	23
3.2.1 Avaliação da alocação atual dos produtos	23
3.2.2 Modelagem matemática e avaliação dos resultados	23
3.2.3 Comparação entre os resultados e proposta do melhor modelo	25
CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES	26
4.1 ANÁLISE DO CENÁRIO DE ALOCAÇÃO ENCONTRADO NA EMPRESA	26
4.2 MODELAGEM MATEMÁTICA E NOVO CENÁRIO DE ALOCAÇÃO	32
4.3 COMPARAÇÃO ENTRE OS CENÁRIOS E PROPOSTA DO MELHOR MODELO	38
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES	40
REFERÊNCIAS	41
APÊNCIDE A – Dados de cada SKU no ano de 2020 (continua)	43
APÊNCIDE B – Resultado obtido através da modelagem (continua)	49

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

Como estratégia competitiva no mercado, as empresas têm buscado reduzir custos e otimizar seus processos internos a fim de entregarem aos seus clientes produtos de qualidade com um preço aceitável. Para isso, é extremamente importante que as atividades ao longo da cadeia de suprimentos sejam gerenciadas corretamente.

A gestão logística ao longo da cadeia de suprimentos é complexa e abrangente, por isso é extremamente importante compreender os objetivos da organização e as formas de atuação nas operações. As atividades então devem ser planejadas e executadas de forma que o menor número de recursos seja utilizado, sempre com o objetivo de reduzir os custos e produzir os melhores resultados possíveis (D'ALVA, 2015).

Entre essas atividades, a separação de pedidos (*picking*) nos Centros de Distribuição (CD) está entre as mais críticas e tradicionalmente as empresas gastam a maior parte do tempo e de seus recursos nela para aumentar sua produtividade a fim de garantir o cumprimento dos requisitos da Cadeia de Suprimentos (TOMPKINS et al, 2010).

Ballou (2007), afirma que a separação de pedidos é a atividade que mais exige mão-de-obra e quase sempre é a que gera maiores despesas entre as operações de um armazém. Assim, as empresas naturalmente têm buscado melhores soluções nas atividades de *picking* como uma maneira de mantê-las competitivas no mercado. Portanto, busca-se nesse trabalho encontrar o método de *picking* mais eficiente em relação à distância percorrida para coleta dos pedidos em um Centro de Distribuição em Goiânia, Goiás.

A atividade de *picking* é conhecidamente identificada como a atividade que mais utiliza mão-de-obra e possui os maiores custos entre as operações da maioria dos Centros de Distribuição. A importância dessa atividade para o bom desempenho do armazém e consequentemente de toda *Supply Chain* é tão grande que estima-se que até 55% das despesas operacionais de um CD estão alocadas na separação dos pedidos (KOSTER; LE-DUC; ROODBERGEN, 2007).

Ainda segundo os mesmos autores, se executado de forma eficiente, o *picking* garante um bom nível de serviço em fatores como a variação de tempo de entrega, integridade e acuracidade do pedido. Outras vantagens muito importantes que podem ser obtidas através dessa atividade é que se reduzido o tempo de separação dos pedidos, mais cedo eles podem ser enviados ao cliente e aumenta-se a flexibilidade no tratamento de alterações tardias no pedido.

Uma das formas de reduzir-se o tempo de atividade é reduzindo a distância percorrida

durante a sua execução. Segundo Tompkins et. al. (2010) cerca de 50% do tempo total da separação de pedidos é gasto com deslocamentos. Đukić, Česnik e Opetuk (2010) afirmam que a alocação dos itens no estoque e os métodos de *picking* adotados pela empresa influenciam diretamente na distância percorrida e conseqüentemente no tempo de separação.

O emprego de ferramentas de Pesquisa Operacional para a otimização desses processos é de grande valor devido aos resultados que podem ser alcançados com essas técnicas e a vantagem de não serem necessárias intervenções na operação para realização dos estudos (RODRIGUES, 2017).

Por fim o objetivo geral desse trabalho foi otimizar a atividade de *picking* em um Centro de Distribuição de uma multinacional na cidade de Goiânia, Goiás. E para isso teve-se como objetivos específicos analisar a alocação atual dos produtos no estoque e o método de *picking* atual da empresa, utilizar modelagem matemática para otimizar a alocação dos produtos e avaliá-la com diversos métodos de *picking* e propor como modelo a ser utilizado o cenário com os melhores resultados analisados. Com isso buscou-se responder a pergunta: Qual estratégia de alocação de produtos associada a qual método de *picking* proporcionaria a menor distância percorrida na coleta dos pedidos do Centro de Distribuição em estudo?

CAPÍTULO 2 - REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 GESTÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS

A Gestão da Cadeia de Suprimentos (*Supply Chain Management*) é um conjunto de ações para a integração eficiente de fornecedores, fábricas, depósitos e pontos comerciais, com o intuito de garantir a produção e distribuição nas quantidades necessárias e no prazo correto aos pontos de entrega, de forma que os custos totais da cadeia sejam os mínimos e o atendimento às exigências em relação ao nível de serviço sejam garantidos (SIMCHI-LEVI; KAMINSKY; SIMCHI-LEVI, 2010).

Waters (2003), define Cadeia de Suprimentos (CS) como uma série de atividades e organizações através da qual materiais movem em uma jornada do fornecedor inicial até o cliente final. Às vezes ela pode incorporar também processos inversos de materiais, partindo do cliente final até um elo anterior da cadeia para reutilização ou reciclagem.

Atualmente, a acirrada competição do mercado tem forçado as empresas a buscarem aspectos que as diferenciem da concorrência. Os clientes estão cada vez mais exigindo benefícios e preços aceitáveis. Não é mais tolerável apenas que o produto seja bom, ele deve estar acompanhado de um preço reduzido.

Segundo Christopher (1992), existem duas estratégias básicas adotadas no mercado, a estratégia de custo e a estratégia de valor. Na primeira, o foco está em reduzir os custos em todos os elementos anteriores ao cliente na cadeia de suprimentos a fim de maximizar o lucro. Na segunda, o foco está em agregar maior valor perceptível ao produto para justificar o seu preço.

Ao longo da CS existem atividades e componentes da cadeia que representam maior impacto no desempenho estratégico de uma organização. Consequentemente eles recebem mais recursos e geram maiores despesas para garantir um alto nível de serviço. Um Centro de Distribuição representa um desses elos críticos podendo apoiar o sucesso da Cadeia de Suprimentos de uma organização, porém se suas operações logísticas não forem eficientes todos os esforços de otimização da cadeia serão comprometidos. (TOMPKINS et al., 2010)

2.2 LOGÍSTICA EM CENTROS DE DISTRIBUIÇÃO

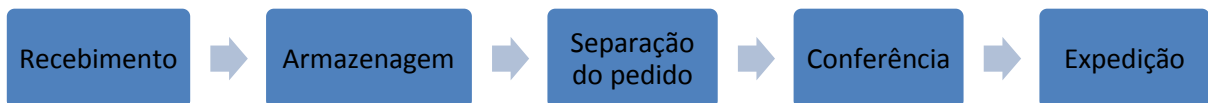
A Logística é o processo de gerenciar de forma estratégica a compra, movimentação e armazenagem de materiais, peças e produtos finais através da organização e dos seus canais de

marketing com o intuito de maximizar os lucros por meio do atendimento dos pedidos a um baixo custo (CHRISTOPHER, 1992).

De acordo com Koster, Lec-Duc e Roodbergen (2007), o termo Centro de Distribuição é usado quando no armazém, além das funções de amortecedor e armazenamento, há uma função principal de distribuição. Tem como finalidade básica, proporcionar maior nível de serviço para os clientes, ao diminuir o tempo de ressuprimento dos produtos através de sua disponibilidade em locais próximos aos centros de consumo (MOURA, 2002).

As atividades básicas de um armazém de um CD são receber os *Stock Keeping Units* (SKU) dos fornecedores, armazená-los, receber pedidos dos clientes, coletar os SKUs conforme o pedido, organizá-los e enviá-los para os clientes (HOEPERS, 2019). Para Öñüt, Tuzkaya e Doğaç (2008) as operações logísticas em um armazém são recebimento, armazenagem, separação do pedido, conferência e expedição conforme ilustrado na figura 1 abaixo:

Figura 1 – Operações Logísticas em armazéns



Fonte: Adaptado de Öñüt, Tuzkaya e Doğaç (2008)

2.2.1 Recebimento

O recebimento é a primeira atividade do processo operacional em um centro de distribuição. Consiste em receber os produtos vindos da fábrica ou de outros CDs para serem alocados no armazém, sendo composto por descarga e conferência. Bowersox et al. (2014) diz que comumente as cargas chegam aos depósitos em caminhões de grande volume, com a descarga geralmente ocorrendo de forma mecanizada, com o uso de empilhadeiras, ou manualmente. A conferência do material recebido é muito importante para que sejam identificados eventuais erros na quantidade recebida ou na qualidade do produto (BARROS, 2005).

2.2.2 Armazenagem

A armazenagem consiste em guardar temporariamente os produtos no estoque até que depois sejam distribuídos para os clientes (FRANKLIN, 2003). É a principal função de um

armazém e as decisões nessa atividade devem embasar-se em três parâmetros: o quanto de cada SKU deve ser mantido em estoque, a frequência e o tempo de ressuprimento de cada SKU no estoque e onde cada SKU deve ser alocado no armazém (GU; GOELTSCHALCKX; MCGINNIS, 2007).

Entre as várias políticas de alocação existentes, Petersen e Schemenner (1999) destacam três: armazenamento aleatório, quando os SKUs são alocados em qualquer posição vazia no armazém, agrupamento por SKUs, onde produtos similares dividem a mesma área no armazém, e, agrupamento por ordem ou volume de separação, quando os produtos com maior demanda são alocados próximos à área de embarque com a finalidade de diminuir o tempo de viagem durante a separação.

Outro fator que interfere na armazenagem é o *layout* do armazém, que se bem projetado contribui para o aumento da eficiência operacional porque facilita o acesso aos materiais em estoque, evita a obstrução de partes da instalação, como corredores por exemplo, garante a segurança das pessoas e a integridade dos produtos (BARROS, 2005).

2.2.3 Picking

Picking ou separação de pedidos é a atividade de coletar no armazém o *mix* de produtos requerido por um cliente nas quantidades corretas (RODRIGUES, 1999). Ainda segundo o mesmo autor, as empresas buscam a estratégia que mais reduza o tempo de separação de um pedido pois este representa 60% do tempo de ciclo do pedido. As estratégias de separação de pedidos podem ser: discreta, por zona, por lote, por zona-lote e por onda.

2.2.3.1 Picking discreto

É a estratégia mais utilizada na maioria dos armazéns. Nela cada separador fica responsável pela coleta de todos os itens de um mesmo pedido. O separador pode percorrer todas as zonas do armazém para coletar os itens contidos no pedido se isso for necessário. Tem como vantagem o menor índice de erros devido à sua simplicidade, porém sua desvantagem é a baixa produtividade de cada separador devido ao grande tempo gasto para ele separar todos os itens do mesmo pedido (BARROS, 2005).

2.2.3.2 Picking por zona

Nesse método o armazém é dividido em zonas e cada separador fica responsável por uma zona específica, podendo coletar itens de pedidos diferentes que estejam em sua zona de responsabilidade. Essa política de separação exige uma etapa de consolidação dos pedidos, já que os itens de um mesmo pedido foram coletados por colaboradores diferentes. Seu principal ganho é a redução do deslocamento dos separadores e seu revés está na distribuição desigual de trabalho entre eles, devido ao fato de algumas zonas terem mais produtos para coleta que outras (BARROS, 2005).

2.2.3.3 Picking por lote

Esse tipo de *picking* é caracterizado pelo acúmulo dos pedidos (formando um lote) para então serem coletados. O separador deve coletar todos os itens acumulados para depois segregá-los entre os diferentes pedidos. Essa metodologia aumenta bastante a produtividade por reduzir os deslocamentos dos colaboradores entre os itens. No entanto, essa vantagem é válida apenas quando os pedidos possuem pequena variabilidade de itens e baixo volume. Além disso, devido à sua complexidade, o picking por lote pode resultar em maiores erros de separação e ordenação dos pedidos.

2.2.3.4 Picking por zona-lote

Essa estratégia consiste na fusão dos métodos de *picking* por zona e lote, combinando as vantagens de cada um. O separador fica responsável por determinado número de produtos, e os pedidos são agrupados em lotes. É um método altamente produtivo, por causa do volume das coletas realizadas. Exige atenção à acuracidade dos pedidos, que precisam ser classificados e montados após a coleta (HONDA; PEREIRA, 2002).

2.2.3.5 Picking por onda

O *picking* por onda ocorre quando pedidos com o mesmo destino (por exemplo, pedidos que possuem um horário marcado com uma mesma transportadora) são realizados ao mesmo tempo em todas as zonas do armazém (KOSTER; LE-DUC; ROODBERGEN, 2007). Esse método apresenta horários determinados para o início da coleta dos itens dos pedidos (ondas), onde esses se acumulam até o horário previsto. Tem como vantagem a possibilidade

de sincronia com o horário de embarque firmado com os transportadores. Pode ser combinada com as estratégias de picking por lote e por zona.

2.2.4 Conferência e Expedição

Depois de separados os itens são verificados a fim de corrigir possíveis erros durante o *picking*. Essa atividade de conferência é muito importante para que não sejam enviados ao cliente produtos em quantidades incorretas e SKUs equivocados. Após o fim dessa etapa, são emitidos os documentos de expedição e a carga é preparada para o embarque.

A atividade de expedição é a última operação logística realizada dentro de um CD. Para sua realização é muito importante que seja planejada a alocação dos produtos dentro do veículo de transporte afim de utilizar o máximo de espaço possível do mesmo, facilitar seu descarregamento na entrega e evitar a ocorrência de avarias durante o transporte.

2.3 EFICIÊNCIA OPERACIONAL E INDICADORES LOGÍSTICOS

Nas atividades logísticas em CDs é fundamental que a eficiência operacional seja a maior possível porque segundo Tompkins *et al.* (1996 *apud* LAI; XUE; ZHANG, 2002) essas atividades representam a maior parte das operações de manuseio de produtos, podendo representar de 15% a 70% dos custos de materiais manufaturados. Assim, é de grande importância que todas as atividades logísticas realizadas em um armazém tenham seu desempenho mensurado, e que sejam controladas pelos gestores a fim de garantir uma boa *performance* e produtividade.

Uma das maneiras de monitorar os processos e controlar seu desempenho é através de indicadores. Diversas empresas utilizam indicadores-chave de desempenho (KPI - *Key Performance Indicators*), que revelam oportunidades de melhoria e desafios a serem enfrentados (SIMCHI-LEVI; KAMINSKY; SIMCHI-LEVI, 2010). Na atividade de *picking* Hedler (2015) aponta os indicadores de tempo de separação, acuracidade na separação e produtividade na separação como principais para monitoramento dessa operação.

O tempo de separação refere-se ao tempo gasto pelos colaboradores para separarem completamente os itens de um pedido. A acuracidade está relacionada com a precisão na separação, ou seja, o quanto dos pedidos foi corretamente separado. Por fim, a produtividade está relacionada com a eficiência na atividade, sendo medida por colaborador, por grupos ou no todo dependendo os objetivos almejados (MORESCO, 2017).

2.4 CONCEITOS QUANTITATIVOS DE APOIO LOGÍSTICO

A Pesquisa Operacional (PO) é o ramo de estudo que se dedica a compreender os problemas relacionados as operações (atividades) em uma organização, a fim de coordenar e controlar essas operações. Possui aplicação em várias áreas distintas como militar, manufatura, transporte, serviços, finanças, entre outras (HILLIER; LIEBERMAN, 2006).

Sua origem como técnica de estudo para otimização surge durante a Segunda Guerra Mundial (1939 – 1945) quando cientistas da Grã-Bretanha através da PO estudaram maneiras mais eficientes de utilizar os recursos de guerra nas operações militares (RODRIGUES, 2017). Ainda segundo o autor, após a Segunda Guerra Mundial, a Pesquisa Operacional se consolida como um método de otimização capaz de aumentar a eficiência e a produtividade nas operações de empresas dos mais diversos segmentos.

Assim, é exequível a aplicação de modelos matemáticos, usados na Pesquisa Operacional, na atividade de *picking* em CDs.

2.4.1 Problema do Caixeiro Viajante

Esse é um problema muito difundido e com aplicações em diversas áreas. Consiste em, dado um conjunto de pontos em um sistema (sejam cidades, postos de trabalhos, depósitos etc.) o caixeiro parte de um ponto definido, percorre todos os demais pontos do sistema e volta ao ponto inicial, passando apenas uma vez em cada local ao menor custo possível. É de grande importância devido a sua grande aplicação prática, relação com outros modelos e grande dificuldade de encontrar uma solução exata (GOLBARG; LUNA, 2005)

Calado e Ladeira (2011) citam o Problema do Caixeiro Viajante (PCV) como um exemplo clássico de problema NP-Difícil, que devido à sua complexidade computacional e com os recursos atuais não há como resolvê-los em tempo presto, geralmente são classificados assim problemas fatoriais ou exponenciais. Os autores também afirmam que para esses casos emprega-se o uso de técnicas heurísticas, a fim de conseguir uma solução próxima do resultado ótimo em menor tempo.

O Problema do Caixeiro Viajante (PCV) - em inglês *Travelling Salesman Problem* (TSP) – é totalmente aplicável ao estudo da atividade de *picking*, onde nesse caso, o caixeiro (separador) parte da zona onde recebe os pedidos de coleta, percorre diversos pontos no armazém para coletar esses pedidos e retorna ao ponto inicial (MORESCO, 2017)

Dentre os vários modelos matemáticos formulados para esse problema, Dantzig,

Fulkerson e Johnson (1954 apud GOLBARG; LUNA 2005) elaboraram o PCV como um problema de programação 0-1 sobre um grafo não orientado $G(N, A)$ sendo G o grafo completo, N o conjunto de n cidades e A o conjunto de arestas. O modelo é formulado como nas equações 1, 2, 3, 4 e 5:

$$\text{Min } Z = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad \forall j \in N \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad \forall i \in N \quad (3)$$

$$\sum_{i,j \in S} x_{ij} \leq |S| - 1 \quad \forall S \subset N \quad (4)$$

$$x_{i,j} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in N \quad (5)$$

Onde:

$$x_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{se o ponto } j \text{ é visitado imediatamente após o ponto } i, \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

Sendo as equações 2 e 3 restrições representando que as arestas devem ter apenas um nó de chegada e um nó de destino. S é um subgrafo de G , onde $|S|$ é o número de nós do subgrafo. A equação 4 é uma restrição que elimina a possibilidade de formação de sub-rotas dentro do sistema e a equação 5 é uma restrição que define o tipo de variável como binária.

2.4.2 Problema da Mochila

Metaforicamente o Problema da Mochila também chamado de *Knapsack Problem* (KP) pode ser compreendido como o desafio de encher uma mochila sem ultrapassar o seu limite de capacidade de peso, maximizando o valor carregado de produtos (GOLBARG; LUNA, 2005). Moresco (2017), o define como um problema cujo objetivo é definir quantos e quais itens em uma relação serão alocados dentro de uma mochila, cada item possui um peso e um valor e a mochila deve ter sua capacidade mensurada.

Fréville (2004) menciona o Problema da Mochila como um problema NP-Difícil e bastante estudado pela comunidade de PO. Kolhe e Christensen (2010) afirmam que problemas de logística envolvendo o uso dos recursos podem ser formulados como um Problema da Mochila.

Golbarg e Luna (2005) usam a notação presente nas equações 6, 7 e 8 para apresentar o modelo matemático desse problema:

$$\text{Max } Z = \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (6)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^n w_j x_j \leq b \quad (7)$$

$$x_j \in \{0,1\} \quad j = 1, \dots, n \quad (8)$$

A variável j refere-se a cada item selecionado para entrar na mochila, c_j representa o valor de cada item, x_j representa as quantidades de cada item que serão alocadas na mochila, w_j é o peso de cada item e b é a capacidade da mochila. A equação 7 é uma restrição que limita o peso máximo carregado à capacidade da mochila e a equação 8 é uma restrição que garante que a variável x_j será binária recebendo o valor de 1 se o item for selecionado e 0 caso contrário.

2.5 SOFTWARES E FERRAMENTAS PARA OTIMIZAÇÃO

2.5.1 Lingo

O Lingo é uma ferramenta simples e muito útil na modelagem de problemas. É utilizado para otimização linear e não-linear. O *software* possui linguagem de modelagem completa e por meio dele é possível formular problemas de grande complexidade, resolvê-los e analisar seus resultados por meio de relatórios (PIRES, 2018).

Segundo Pires (2018) na linguagem de programação do Lingo existem algumas sessões e comandos muito importantes e utilizados:

- Sessão SETS: Geralmente utilizada em problemas de grande porte. O conceito dessa sessão é criar grupos de objetos relacionados. Pode ser compreendido como uma estrutura de dados do tipo vetor (para SETS simples ou primitivos) e do tipo matriz (para SETS derivado). O fim da sessão é indicado pelo

comando ENDSETS.

- Sessão DATA: Essa sessão é utilizada para ler os dados das variáveis indicadas na sessão SETS. O seu fim é indicado pelo comando ENDDATA.
- Comando @OLE: É utilizado para importar ou exportar dados.
- Comando MIN: Indica que se trata de uma função de minimização.
- Comando MAX: Indica que se trata de uma função de maximização.
- Comando @SUM: Indica um somatório.
- Comando @FOR: Indica uma repetição associada à uma condição.
- Comando @BIN: Indica que uma variável é binária.
- Comando @GIN: Indica que uma variável é inteira.

2.5.2 Solver do Excel

O Solver é um suplemento do Microsoft Excel útil para resolução de problemas de programação linear. Através dele pode-se encontrar a resposta ideal de uma fórmula, respeitando as restrições ou limites escritos em outras fórmulas nas células da planilha. Para complementar a modelagem, além da célula com a função objetivo e das células com as restrições é necessário preencher células com as variáveis de decisão. Assim o solver atribui os valores para as variáveis de decisão que satisfaçam as condições das células de restrições e obedeçam a fórmula da célula de função objetivo (MICROSOFT, 2021).

2.6 TRABALHOS CORRELATOS

2.6.1 Análise da eficiência operacional na atividade de picking em uma empresa de tubos e conexões

Um estudo realizado por Moresco (2017) teve como objetivo identificar qual o método de separação em que ocorre a maior eficiência operacional da atividade de *picking*. Foi um estudo de caso aplicado em um CD de uma empresa multinacional de tubos e conexões localizada na cidade de Joinville – SC.

Utilizou-se o modelo matemático do Problema da Mochila para a otimização da alocação dos itens no armazém. Esse modelo de programação linear foi calculado pela ferramenta NEOS Server e pelo *software* Gurobi. Adotou-se o Problema do Caixeiro Viajante para a definição das rotas que deveriam ser percorridas em cada ordem de coleta utilizada na

simulação, e adotou-se as heurísticas do Vizinheiro mais próximo e trocas 2-opt para definição do melhor caminho e posterior otimização da rota no *software* MATLAB®.

Foram testados vários cenários que adotavam ou não a alocação otimizada conjuntamente com as diferentes estratégias de *picking* existentes. Concluiu-se que a alocação otimizada acompanhada da estratégia de *picking* discreto apresentou o melhor resultado operacional. Esse cenário demonstrou uma redução de 23% no tempo de coleta total do pedido em comparação com o cenário realizado na empresa.

2.6.2 Propostas para otimização das atividades de picking em um centro de distribuição de uma multinacional

Este trabalho foi um estudo de caso feito por Hoepers (2019) em um CD de uma empresa multinacional do setor alimentício situado em Joinville – SC e teve por objetivo otimizar a atividade de *picking*.

Inicialmente estudou-se a alocação dos itens no estoque e aplicou-se o modelo do Problema da Mochila para a otimização das novas posições através da plataforma NEOS Server e do *software* Gurobi, usando linguagem AMPL (*A Mathematical Programming Language*).

Foram criados 7 cenários definidos pela alocação dos produtos, o tipo de *picking* e o método de recolha referente a rota. O cenário com a alocação otimizada, o tipo de *picking* por zona e o método de coleta otimizado pelo Problema do Caixeiro Viajante apresentou os melhores resultados, representando um aumento de 52,3% de eficiência em relação ao cenário utilizado na empresa.

CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA DE PESQUISA

3.1 DESCRIÇÃO DA EMPRESA

A empresa desse estudo de caso trata-se de uma multinacional do ramo de produtos descartáveis de higiene pessoal, que nesse trabalho será chamada de Empresa X. É líder mundial no segmento de higiene pessoal oferecendo produtos para cuidado infantil, feminino e adulto com presença em mais de 110 países. A unidade de aplicação desse estudo é o seu CD situado em Goiânia – GO.

Na unidade, o armazém ao todo é constituído por 40 corredores, existem duas docas de recebimento e 17 docas de expedição ativas. Os pedidos são separados por palete ou fracionados, sendo que o armazém está segregado em duas zonas, uma para cada tipo de pedido. Neste estudo, foi analisado o *picking* de pedidos fracionados, cuja zona é composta por três corredores, ligados por três túneis, possuindo 261 posições, todas localizadas no primeiro nível de armazenamento (o nível do chão na estrutura porta palete).

3.2 ETAPAS DA PESQUISA

3.2.1 Avaliação da alocação atual dos produtos

Para a realização desta pesquisa inicialmente foi estudado o processo de separação de pedidos através da observação *in loco*. Também foram analisados o arranjo físico da instalação, o mapeamento da alocação dos itens no estoque, a priorização de estoque e o indicador de produtividade da atividade.

Através das bases de dados obtidas no *Warehouse Management System* (WMS) da empresa, foi possível identificar a alocação atual dos itens no armazém. Para a análise da alocação atual usou-se o indicador de índice de giro (IG) de estoque, que Paolechi (2018) descreve através da razão da quantidade de itens vendidos (N) de cada SKU pelo seu estoque médio (EM), considerando um período definido. A equação 9 apresenta o cálculo do IG:

$$IG = \frac{N}{EM} \quad (9)$$

Para o presente estudo, considerou-se um período de 12 meses para o cálculo do IG. Utilizou-se os dados de vendas de janeiro de 2020 até dezembro de 2021, em conjunto com os relatórios, extraídos do WMS da empresa, com o inventário virtual de estoque do início e do fim do período analisado. Após calcular-se os índices de giro de estoque de cada SKU, elaborou-se um mapa de calor em Excel com uma representação esquemática da zona de *picking* a fim de visualizar a configuração da alocação dos produtos em janeiro de 2021 pelos seus índices de giro através de uma escala de cores. Além de uma ferramenta visual, foram selecionados três pedidos reais, ocorridos em dezembro de 2020, para mensurar a distância percorrida pelos separadores nesse cenário.

3.2.2 Modelagem matemática e avaliação dos resultados

Realizou-se a otimização da alocação por meio do Problema da Mochila, conforme Kolhe e Christensen (2010), no *solver* LINGO®. Para construir o modelo matemático do Problema da Mochila, fez-se alterações no modelo genérico apresentado nas equações 6, 7 e 8 com o intuito de adequá-las ao sistema estudado nesse estudo de caso. O modelo usado para modelagem matemática é apresentado nas equações 10, 11, 12, 13 e 14 a seguir:

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad (10)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad \forall i = 1, \dots, m. \quad (11)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \leq 1 \quad \forall j = 1, \dots, n. \quad (12)$$

$$x_{i,j} \in \{0,1\}, i, j = 1, \dots, n. \quad (13)$$

Onde:

$$x_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{se o produto } i \text{ é alocado na posição } j \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (14)$$

Na equação 10, a função objetivo contém a variável c que representa o produto do giro de estoque do SKU i pela distância da posição j , e é multiplicada por uma variável binária x . O primeiro somatório representa a iteração de um item com cada posição do estoque e o segundo somatório garante que todos os produtos participarão do modelo. N representa a quantidade de posições de estoque, e M representa a quantidade de SKUs. A restrição 11 garante que um SKU será alocado em apenas uma posição, e a restrição 12 garante que uma posição só poderá receber apenas um SKU ou ficar vazia. Já a restrição 13 descreve a variável x como binária, recebendo 1 se o produto i for alocado na posição j e 0 caso não seja.

Para o cálculo das distâncias, com a planta baixa da instalação no *software* AutoCAD®, mediu-se as distâncias entre cada posição e a zona de embarque. Com o intuito de simplificar o modelo matemático utilizou-se a distância até a doca 37, que foi escolhida por estar em uma posição mais centralizada entre as docas de expedição e por nela estar situada a impressora que emite a etiqueta de identificação do palete após a conclusão da coleta, e por esse motivo todos os separadores obrigatoriamente devem passar por ela. Também foram medidas no AutoCAD® as distâncias entre as posições que seriam visitadas para coleta dos pedidos selecionados para análise. Os dados de giro de estoque e distância de cada posição foram transcritos para tabelas em Excel e posteriormente foram importadas pelo *solver* LINGO durante a execução do modelo.

Após a modelagem matemática, o relatório com os resultados obtidos foi copiado para o Excel e, com a nova alocação dos produtos no armazém, construiu-se um novo mapa de calor para visualizar a nova configuração de armazenagem.

3.2.3 Comparação entre os resultados e proposta do melhor modelo

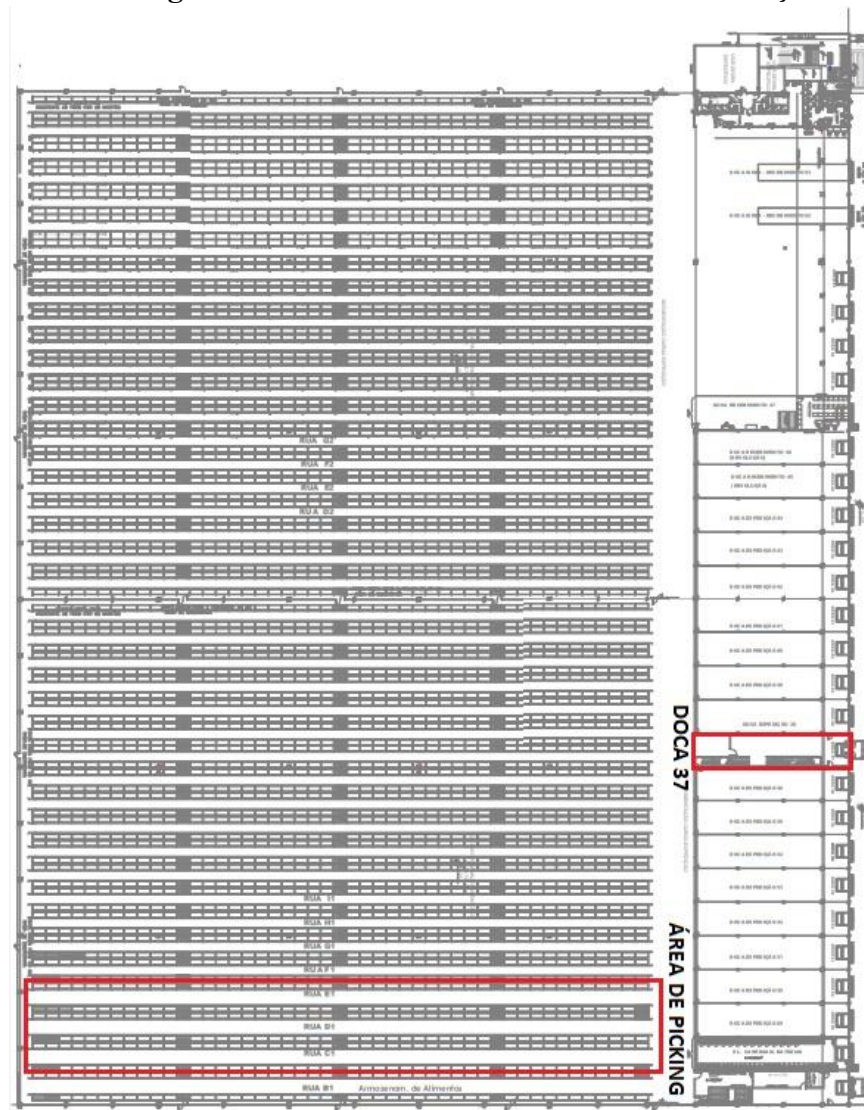
Comparando-se o cenário encontrado na empresa e o cenário construído pela otimização, foi analisado se houve redução da distância percorrida para coleta dos pedidos, e consequentemente redução de tempo na atividade, ao adotar-se a modelagem matemática do Problema da Mochila para alocação dos itens. Ao mesmo tempo, avaliações abordando os métodos de *picking* discreto e *picking* por zona foram realizadas, com o objetivo de verificar qual impacto de cada método sobre a distância percorrida pelos separadores. O método de *picking* por onda não foi analisado por não impactar diretamente na distância percorrida e o *picking* por lote também não foi analisado por ser não aplicável devido à grande variação de SKUs e alto volume de separação. Após a comparação entre os diferentes cenários foram feitas considerações e a proposição do melhor cenário a ser adotado.

CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ANÁLISE DO CENÁRIO DE ALOCAÇÃO ENCONTRADO NA EMPRESA

A partir das visitas *in loco* e dos dados fornecidos pela empresa possibilitou-se a compreensão da execução da atividade de *picking* e das metodologias adotadas pela empresa para gestão do estoque. No mês de janeiro de 2021, período usado para análise, a atividade de *picking* era executada em 2 turnos de trabalho com 4 separadores em cada turno. A planta baixa do armazém, com destaque para a zona estudada, é apresentada na figura 2 abaixo:

Figura 2 – Planta baixa do Centro de Distribuição



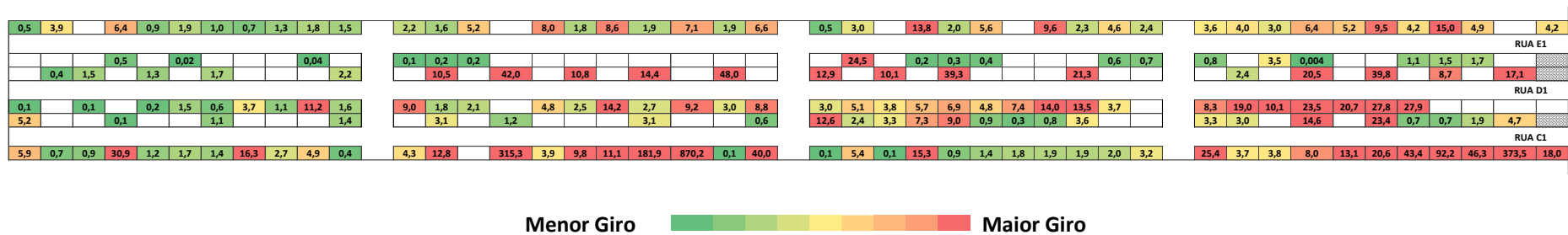
Fonte: Fornecido pela empresa (2021)

Identificou-se que a estratégia de alocação adotada para o armazenamento dos produtos era a alocação por SKU, sendo assim estes são agrupados em famílias de produtos, cada uma ocupando uma parte da zona de *picking*. Os métodos de coleta identificados foram o *picking* por onda, no qual em horários específicos do dia os pedidos são liberados para a operação coletá-los, combinado com o método de *picking* discreto, onde cada separador, em seu coletor de dados digital, seleciona quais pedidos atenderá, coletando todos os produtos desse pedido.

Com os dados fornecidos pela empresa, pode-se construir um mapa de calor do cenário encontrado na instalação. A Figura 3 ilustra o mapa de calor da alocação dos produtos encontrada na empresa:

Figura 3 – Mapa de calor do cenário encontrado no CD da empresa

Ponto Referencial
(DOCA 37)

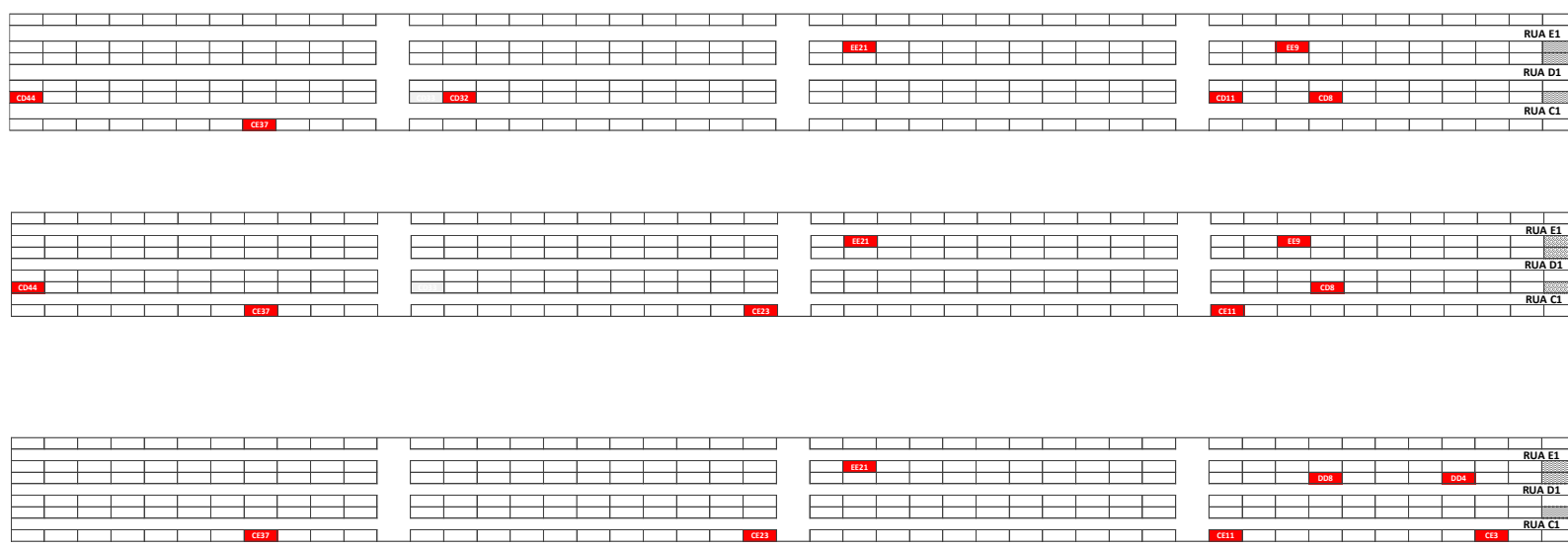


Fonte: Autor (2020)

Pode-se observar pelo mapa de calor que, em relação ao giro de estoque, os SKUs não estavam organizados de forma que os que possuíssem maior giro estivessem próximos das entradas das ruas. É possível notar que apesar de alguns SKUs com alto giro de estoque estarem em posições próximas da zona de embarque, muitos deles estavam alocados em posições distantes. Soma-se a isso o fato de algumas posições também próximas à zona de embarque estarem desocupadas.

Após a visualização da alocação dos produtos, 3 (três) pedidos reais foram selecionados aleatoriamente para a avaliação da distância percorrida pelos separadores. Os métodos de *picking* discreto, usado na empresa, e do *picking* por zona foram utilizados para avaliar as diferenças de distância percorrida pelos separadores em cada método. As representações esquemáticas do armazém, com destaque para as posições a serem visitadas para coleta dos pedidos 1, 2 e 3, são mostradas na Figura 4, a seguir:

Figura 4 – Endereços que devem ser visitados para coleta dos Pedidos 1, 2 e 3



Fonte: Autor (2021)

Pelo método de *picking* discreto, adotado pela empresa, considerou-se que cada pedido foi coletado inteiramente por um separador. A Tabela 1 mostra as distâncias percorridas por cada separador:

Tabela 1 – Distâncias percorridas pelos separadores com a alocação utilizada na empresa e o método de *picking* discreto

Separador	Pedido de Coleta	Distância percorrida (m)
A	1	335,65
B	2	335,65
C	3	311,45
Distância Total		982,75

Fonte: AUTOR (2021)

Pode-se observar que a variação das distâncias percorridas para os pedidos selecionados foi relativamente baixa nesse método. As posições a serem visitadas para os pedidos 1 e 2 foram quase idênticas o que acarretou distâncias percorridas iguais, e o pedido 3 apesar de conter produtos nas três ruas do armazém, apresentou uma distância total percorrida menor que os demais. A distância total para coleta dos três pedidos nesse cenário foi de aproximadamente 983 metros.

Pelo método de *picking* por zona, considerou-se que cada separador ficou responsável por uma rua do armazém coletando todos os itens solicitados em sua rua, mesmo que fossem de pedidos diferentes. A Tabela 2 mostra as distâncias percorridas por cada separador:

Tabela 2 – Distâncias percorridas pelos separadores com a alocação utilizada na empresa e o método de *picking* por zona

Separador	Rua	Distância percorrida (m)
A	C1	338,5
B	D1	143,6
C	E1	201,8
Distância Total		683,9

Fonte: AUTOR (2021)

Nesse método de *picking* nota-se que houve maior variação entre as distâncias a serem percorridas por cada separador. Se comparado com o método de *picking* discreto, a distância total percorrida foi menor em 298,9 metros, demonstrando a redução da distância percorrida que esse método trás conforme Barros (2005).

4.2 MODELAGEM MATEMÁTICA E NOVO CENÁRIO DE ALOCAÇÃO

Um novo cenário foi construído através da modelagem matemática para realocação dos produtos dentro do armazém. O modelo matemático foi escrito no Lingo com a linguagem de programação própria do *software*. A figura 5 mostra o algoritmo escrito para construção do modelo:

Figura 5 – Algoritmo construído para otimizar a alocação dos produtos

```

!Declaração das variáveis;
sets:
!SKU que está relacionado com a sua demanda;
PRODUTO: GIRO;
!Endereço que está relacionado com a sua distância ao ponto referencial;
ENDereco: DISTANCIA;
!Par ordenado que relaciona o produto ao endereço, e é atribuído a uma variável x ;
ARCO (PRODUTO, ENDereco):x;
endsets

data:
!Importação dos dados do Excel;
GIRO, DISTANCIA, ENDereco, PRODUTO = @OLE ('Base_Dados.xlsx');
enddata

!Função objetivo;
min = @sum(ARCO(p,e):GIRO(p) * DISTANCIA(e) * x(p,e));

!Restrições;

!A variável x é binária (recebe 1 se o produto p é alocado no endereço e, e 0 caso contrário);
@for(ARCO(p,e):@bin(x(p,e)));

!Um produto deve ser alocado em apenas uma posição;
@for(PRODUTO(p):@sum(ENDereco(e):x(p,e)) = 1);

!Uma posição deve conter no máximo um produto;
@for(ENDereco(e):@sum(PRODUTO(p):x(p,e)) <= 1);

```

Fonte: Autor (2021)

Devido ao grande porte do problema, utilizou-se a seção “sets” para a inserção de valores no modelo através de objetos que contém constantes relacionadas. No modelo, criou-se os objetos “Produto” para referenciar os SKUs, “Giro” para referenciar os giros de estoque de cada SKU, “Endereco” para referenciar as posições de estoque e “Distancia” para referenciar as distâncias de cada posição. Um *set* derivado foi criado para relacionar a variável binária “x” com a matriz “Arco”, esta matriz é constituída pelos objetos “Produto” e “Endereco”.

Na seção “data” leu-se os valores das constantes presentes nos objetos definidos na seção anterior. Esses valores estavam presentes nos seguintes intervalos criados em uma planilha do Excel: “Distancia”, “Endereco”, “Giro”, “Produto”. Estes intervalos tiveram seus nomes escritos no algoritmo e através do comando “@ole” foram importados para o Lingo.

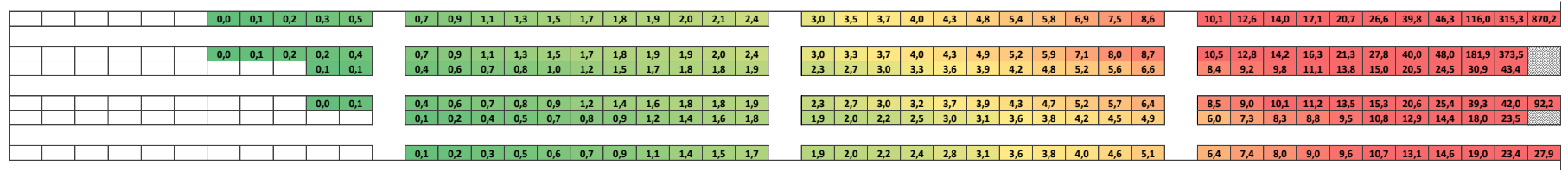
Na função objetivo colocou-se o comando de minimização “min”, e o comando “@sum” para realizar o somatório da multiplicação do giro de cada produto pela distância de cada posição e pela variável “x” que recebe 1 ou 0. Assim ao realizar-se a iteração de cada SKU com cada posição do estoque o algoritmo escolhe a combinação onde a multiplicação do giro de estoque do SKU pela distância da posição seja a menor entre todas as possíveis, desconsiderando as demais combinações encontradas.

Na primeira restrição, utilizou-se o comando “@bin” para que cada matriz “Arco” receba-se apenas o valor de 0 ou 1, sendo 1 caso o produto seja alocado na posição e 0 caso contrário. Na segunda restrição, cada produto “p” ficou sujeito a ocupar apenas um endereço “e” através do somatório da combinação de produtos nesse endereço igual a 1. E na terceira restrição, cada endereço “e” ficou sujeito a receber apenas um produto “p” ou ficar vazio, através do somatório das combinações menor ou igual a 1.

Os resultados obtidos, copiados para o Excel, podem ser conferidos no Apêndice B. A Figura 6 apresenta o mapa de calor com os resultados alcançados através da otimização:

Figura 6 – Mapa de calor da alocação otimizada pelo Problema da Mochila no CD da empresa

Ponto Referencial
(DOCA 37)



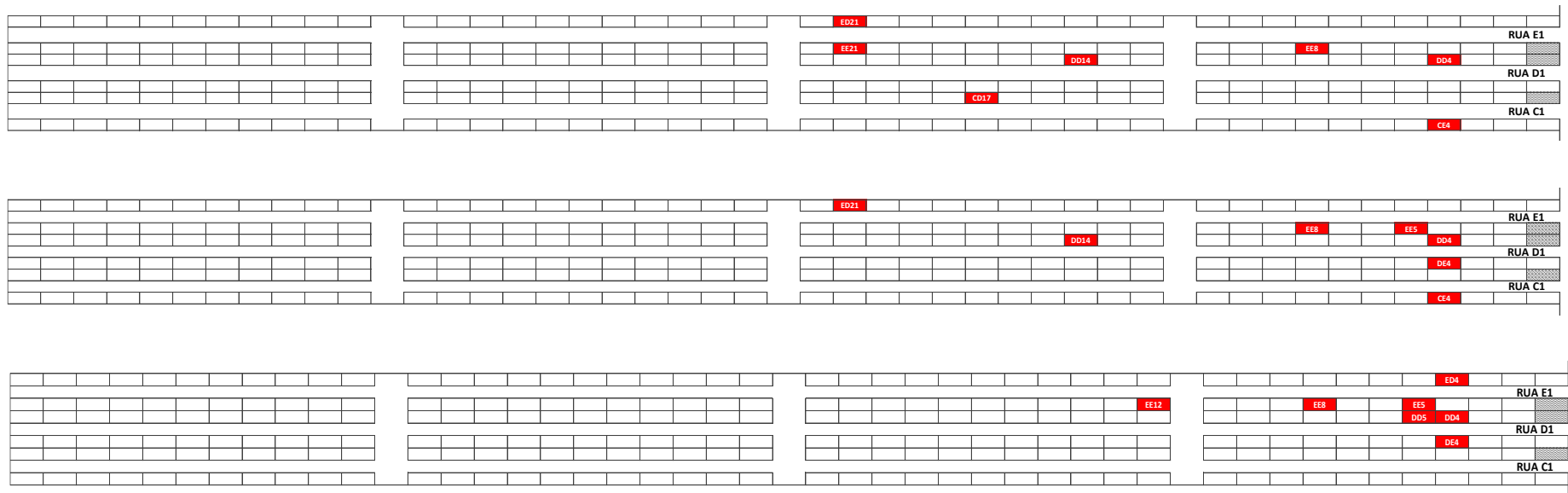
Menor Giro Maior Giro

Fonte: Autor (2021)

Pode-se observar pelo novo mapa de calor que os SKUs com maior giro de estoque foram alocados em posições mais próximas da doca 37, ponto usado como referência para esse estudo. Devido à menor quantidade de SKUs em relação à quantidade de endereços dessa zona do armazém, as posições mais distantes, localizadas no final dos corredores, não receberam produtos. Desse modo, o modelo matemático foi capaz de criar um cenário com a armazenagem dos produtos pelo método de alocação por ordem ou volume de separação, conforme Petersen e Schemenner (1999).

Nesse cenário de alocação, para a avaliação da distância percorrida durante a coleta dos pedidos, os mesmos pedidos selecionados para análise do cenário encontrado na empresa foram utilizados. Os métodos de *picking* usados para essa abordagem também foram o *picking* discreto e o *picking* por zona. As representações esquemáticas do armazém, com destaque para as posições a serem visitadas para coleta dos Pedidos 1, 2 e 3, são mostradas na Figura 7, a seguir:

Figura 7 – Novos endereços que devem ser visitados para coleta do Pedido 1, 2 e 3



Fonte: Autor (2021)

Pelo método de *picking* discreto, considerou-se que cada pedido foi coletado inteiramente por um separador. A Tabela 3 mostra as distâncias percorridas por cada separador:

Tabela 3 – Distâncias percorridas pelos separadores com a alocação otimizada e método de *picking* discreto

Separador	Pedido de Coleta	Distância percorrida (m)
A	1	271,21
B	2	248,73
C	3	181,11
Distância Total		701,05

Fonte: AUTOR (2021)

Observa-se que apesar dos pedidos serem de mesmo tamanho, cada um contendo 7 endereços para visitação no armazém, houve variação considerável da distância percorrida entre eles. A distância total para coleta dos três pedidos foi de 701 metros, sendo o pedido 1 o que apresentou o maior percurso devido a dispersão maior dos itens a serem coletados em rela o aos outros pedidos.

Pelo método de *picking* por zona, considerou-se que cada separador ficou responsável por uma rua do armazém coletando todos os itens solicitados em sua rua, mesmo que fossem de pedidos diferentes. A Tabela 4 mostra as distâncias percorridas por cada separador:

Tabela 4 – Distâncias percorridas pelos separadores com a aloca o otimizada e método de *picking* por zona

Separador	Rua	Distância percorrida (m)
A	C1	210,18
B	D1	188,34
C	E1	212,48
Distância Total		611

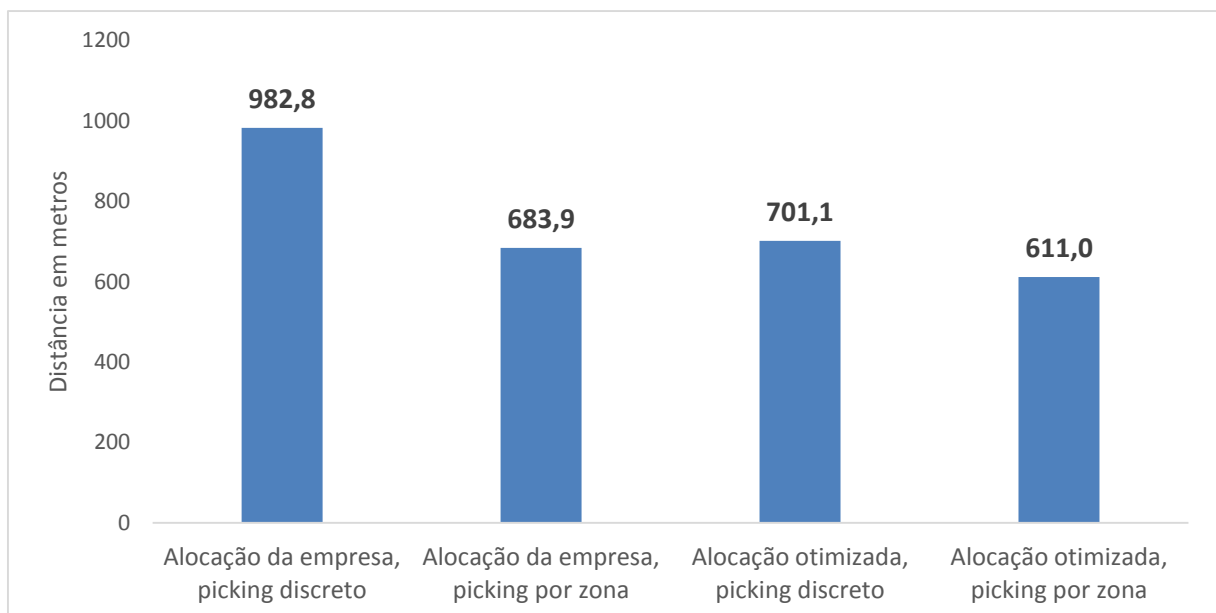
Fonte: AUTOR (2021)

Os dados da Tabela 4 mostram que houve maior homogeneidade entre as distâncias percorridas por cada separador em rela o ao método do *picking* discreto. A distância total percorrida foi de 611 metros, representando um ganho de 90 metros ao adotar-se o *picking* por zona para coleta dos itens em compara o com o *picking* discreto.

4.3 COMPARAÇÃO ENTRE OS CENÁRIOS E PROPOSTA DO MELHOR MODELO

Após a criação dos cenários de alocação encontrada na empresa com a coleta pelos métodos de *picking* discreto e *picking* por zona, e da alocação otimizada pelo problema da mochila também usando-se os métodos de coleta do *picking* discreto e do *picking* por zona foi possível realizar uma comparação entre as distâncias percorridas para coleta dos pedidos selecionados. A Figura 8 mostra um gráfico com as distâncias totais encontradas em cada cenário.

Figura 8 - Distâncias totais percorridas em cada cenário proposto (em metros)



Fonte: Autor (2021)

Entre os quatro cenários propostos, nota-se que o cenário adotado na unidade (com alocação encontrada na empresa e o *picking* discreto) foi o que apresentou a maior distância entre todos. Mantendo o método de alocação e apenas mudando o método de *picking* ocorre a redução da distância total em 298,9 metros representando uma redução percentual de 30,4%. Mudando a alocação para o método por ordem ou volume de separação através da modelagem matemática e adotando-se o método de *picking* discreto foi constatada a redução da distância em 281,7 metros, sendo 28,7% menor em comparação com o cenário da empresa.

Já o cenário que apresentou a menor distância percorrida foi o cenário com a alocação dos produtos no armazém otimizada pelo Problema da Mochila e o método de *picking* por zona. Comparando esse cenário com o cenário da empresa, a diferença da distância percorrida para

coleta dos pedidos selecionados foi de 371,8 metros, reduzindo o deslocamento em 37,8%.

Tendo como medida de desempenho avaliada a distância percorrida esse é o cenário da alocação otimizada e do *picking* por zona, comprovando o caráter que o método de alocação por ordem ou volume de separação possui de buscar aproximar os produtos com maior saída para perto da zona de embarque conforme Petersen e Schemenner (1999), e a vantagem de menor deslocamento durante a coleta proporcionada pelo método de *picking* por zona conforme Barros (2005).

CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES

Nesse trabalho buscou-se identificar o método que otimiza-se a atividade de *picking* no Centro de Distribuição da empresa em estudo através da comparação entre as formas de alocação dos produtos e os tipos de *picking*, tendo como medida de desempenho a distância percorrida em cada cenário.

Para isso foram estudados os diversos tipos de alocação de produtos em armazéns em conjunto com os métodos de *picking* mais comuns. A partir disso identificou-se, através de visitas *in loco* e da análise dos indicadores e dados fornecidos pela empresa, o método de alocação de itens por SKU ou família de produtos e o método de *picking* discreto como os adotados na unidade. Selecionou-se três pedidos aleatórios e mediu-se a distância percorrida para coleta através dos métodos de *picking* discreto e por zona.

Para a otimização da alocação, estudou-se os modelos matemáticos mais usados para resolução desse tipo de problema, escolhendo-se o modelo do Problema da Mochila. Estudou-se também os *softwares* e ferramentas usados para a otimização, adotando-se nesse estudo o *software* Lingo. Com o resultado da otimização, comparou-se a distância percorrida para coleta dos mesmos três pedidos anteriores com a nova alocação e os métodos de *picking* discreto e por zona.

Após a criação dos cenários, os mesmos foram comparados entre si a fim de analisar qual traria o melhor resultado em relação à medida de desempenho adotada. Entre os quatro cenários criados, a alocação por ordem ou volume de separação criada por otimização pelo Problema da Mochila em conjunto com o método de *picking* por zona apresentou os melhores resultados apresentando redução da distância percorrida em 37,8%, e é o cenário indicado para adoção na empresa.

Como sugestão para trabalhos futuros, indica-se a cronoanálise da atividade para avaliação adequada dos tempos de coleta e o uso desses tempos para análise dos cenários. Indica-se também a aplicação de modelos matemáticos para otimização da rota a ser percorrida por cada separador e o uso de uma amostra maior de pedidos de coleta, considerando um maior espaço de tempo e adotando como critério para seleção os pedidos mais comuns ao invés de aleatórios como realizado nesse trabalho, para avaliação das medidas de desempenho em cada método.

REFERÊNCIAS

BALLOU, R. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos**. 5 ed. Porto Alegre: Bookman, 2007. 616p.

BARROS, M. **Warehouse Management System (WMS): conceitos teóricos e implementação em um centro de distribuição**. Rio de Janeiro: PUC-Rio, 2005.

BOWERSOX, D. et al. **Gestão Logística da Cadeia de Suprimentos**. 4 ed. Porto Alegre: Bookman, 2014. 472 p.

CALADO, F.; LADEIRA, A. Problema do caixeiro viajante: Um estudo comparativo de técnicas de inteligência artificial. **E-xacta**, v. 4, n. 1, 2011.

CHRISTOPHER, M. **Logística e Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: Estratégias para Redução de Custos e Melhoria dos Serviços**. São Paulo: Thomson, 1992. 240p.

DUKIĆ, G.; ČESNIK, V.; OPETUK, T. Order-picking: Methods and Technologies for Greener Warehousing. **Journal for Theory and Application in Mechanical Engineering**. V. 52, n 1, p. 23-31, 2010.

FRANKLIN, R. Conhecimentos de movimentação e armazenagem. **E-quality Núcleo de treinamento e pesquisa da consultoria**. InfoJBS, 2003.

FRÉVILLE, A. The multidimensional 0–1 knapsack problem: An overview. **European Journal of Operational Research**, v. 155, n. 1, p. 1–21, 2004.

GOLBARG, M.; LUNA, H. **Otimização combinatória e programação linear: modelos e algoritmos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005. 518p.

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

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

HILLIER, F.; LIEBERMAN, G. **Introdução à Pesquisa Operacional**. 8 ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2006. 1028p.

HOEPERS, B. **Propostas para otimização das atividades de picking em um centro de distribuição de uma multinacional**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Transportes e Logística) – Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2019.

HONDA, H; PEREIRA, G. **Logística: Movimentação e Armazenagem de Materiais**. Guia do visitante da MOVIMAT, v. 18, n.143, p.18, 2002.

JÚNIOR, M. **Análise do Processo de Picking no Almoarifado Central da Prefeitura de Coronel Fabriciano/MG**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado Administração Pública) – Universidade Federal de São João del Rei, Timóteo, 2018.

KOLHE, Pushkar; CHRISTENSEN, Henrik. Planning in Logistics: A survey. **Proceedings of the 10th Performance Metrics for Intelligent Systems Workshop**. p. 48-53, 2010.

KOSTER, R.; LE-DUC, T.; ROODBERGEN, K. Design and control of warehouse order picking: A literature review. **European journal of operational research**, v. 182, n. 2, p. 481-501, 2007.

Definir e resolver um problema usando o Solver. MICROSOFT, 2021. Disponível em: <https://support.microsoft.com/pt-br/office/definir-e-resolver-um-problema-usando-o-solver-5d1a388f-079d-43ac-a7eb-f63e45925040>. Acesso em: 20 de maio de 2021.

MORESCO, G. **Análise da eficiência operacional na atividade de picking em uma empresa de tubos e conexões**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Transportes e Logística) – Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2017.

MOURA, R. **Administração de Armazéns**. São Paulo: Instituto IMAM, 2000.

ÖNÜT, S.; TUZKAYA, U.; DOĞAÇ, B. A particle swarm optimization algorithm for the multiple-level warehouse layout design problem. **Computers & Industrial Engineering**, v. 54, n. 4, p. 783-799, 2008.

PAOLECHI, B. **Almoarifado e Gestão de Estoques – Do recebimento, guarda e expedição à distribuição do estoque**. 2 ed. São Paulo: Érica, 2018. 269p.

PETERSEN, G.; SCHMENNER, W. An Evaluation of Routing and Volume-based Storage Policies in an Order Picking Operation. **Decision Sciences**, v. 30, n. 2. p. 481- 502, 1999.

PIRES, V. **Utilização de ferramentas computacionais para resolução de problemas de programação linear**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Matemática) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 2018.

RODRIGUES, R. **Pesquisa Operacional**. Porto Alegre: Sagah, 2017. 121p.

SHIMCHI-LEVI, D.; KAMINSKY, P.; SIMVHI-LEVI, E. **Cadeia de Suprimentos Projeto e Gestão**. 3 ed. Porto Alegre: Bookman, 2010. 584p.

TOMPKINS, J. et al. **Facilities Planning**. 4 ed. New York: John Wiley & Sons, 2010. 854p.

WATERS, D. **Logistics: An introduction to Supply Chain Management**. New York: Palgrave Macmillan, 2003. 250p

APÊNCIDE A – Dados de cada SKU no ano de 2020 (continua)

SKU	Und. Vendidas	Estoque Médio	Índice de Giro
1	21210	24	870,2
2	77838	208	373,5
3	19231	61	315,3
4	110860	609	181,9
5	129730	1119	116,0
6	104386	1133	92,2
7	291041	6063	48,0
8	579731	12522	46,3
9	22509	518	43,4
10	148187	3531	42,0
11	407910	10188	40,0
12	359986	9034	39,8
13	61387	1563	39,3
14	157938	5119	30,9
15	5245	188	27,9
16	1875	67	27,8
17	62300	2343	26,6
18	207370	8154	25,4
19	263094	10739	24,5
20	65952	2801	23,5
21	67969	2899	23,4
22	41529	1952	21,3
23	12093	584	20,7
24	87456	4238	20,6
25	165542	8065	20,5
26	47917	2525	19,0
27	8608	479	18,0
28	240185	14078	17,1
29	95073	5846	16,3
30	51826	3386	15,3
31	290	19	15,0
32	46674	3189	14,6
33	119967	8314	14,4
34	22078	1551	14,2
35	6822	488	14,0
36	13143	955	13,8
37	360	27	13,5
38	181827	13874	13,1
39	340214	26379	12,9

APÊNDICE A – Dados de cada SKU no ano de 2020 (continuação)

SKU	Und. Vendidas	Estoque Médio	Índice de Giro
40	23374	1825	12,8
41	43834	3481	12,6
42	8602	770	11,2
43	12396	1115	11,1
44	106391	9858	10,8
45	38374	3577	10,7
46	24929	2379	10,5
47	18290	1805	10,1
48	157886	15698	10,1
49	64269	6588	9,8
50	20989	2181	9,6
51	34110	3609	9,5
52	32779	3545	9,2
53	83407	9217	9,0
54	11285	1252	9,0
55	24625	2813	8,8
56	434172	49910	8,7
57	98712	11427	8,6
58	100810	11791	8,5
59	13294	1585	8,4
60	9605	1150	8,3
61	53259	6661	8,0
62	60993	7636	8,0
63	14272	1894	7,5
64	59880	8118	7,4
65	32031	4388	7,3
66	118163	16711	7,1
67	31645	4588	6,9
68	96917	14714	6,6
69	33526	5207	6,4
70	4505	708	6,4
71	13271	2207	6,0
72	29273	4943	5,9
73	29372	5094	5,8
74	7215	1270	5,7
75	14900	2669	5,6
76	33887	6233	5,4
77	12204	2339	5,2
78	23725	4584	5,2
79	30307	5869	5,2

APÊNDICE A – Dados de cada SKU no ano de 2020 (continuação)

SKU	Und. Vendidas	Estoque Médio	Índice de Giro
80	8802	1718	5,1
81	37297	7546	4,9
82	366	74	4,9
83	13269	2737	4,8
84	8087	1690	4,8
85	57963	12215	4,7
86	13704	3000	4,6
87	2605	576	4,5
88	173872	40126	4,3
89	5989	1393	4,3
90	9658	2270	4,3
91	33587	7978	4,2
92	11699	2816	4,2
93	1042	259	4,0
94	47005	11805	4,0
95	29644	7448	4,0
96	9667	2451	3,9
97	415	108	3,9
98	16553	4305	3,8
99	46878	12287	3,8
100	6657	1778	3,7
101	6464	1730	3,7
102	162405	44211	3,7
103	13016	3640	3,6
104	11770	3303	3,6
105	4578	1285	3,6
106	71513	20540	3,5
107	107617	32296	3,3
108	13559	4166	3,3
109	5984	1846	3,2
110	35568	11305	3,1
111	12701	4147	3,1
112	21431	7121	3,0
113	2377	791	3,0
114	18758	6307	3,0
115	66765	22461	3,0
116	9785	3315	3,0
117	7635	2686	2,8
118	1739	645	2,7
119	5134	1905	2,7

APÊNDICE A – Dados de cada SKU no ano de 2020 (continuação)

SKU	Und. Vendidas	Estoque Médio	Índice de Giro
120	96452	37887	2,5
121	4257	1767	2,4
122	37432	15668	2,4
123	20051	8522	2,4
124	276	118	2,3
125	14835	6587	2,3
126	5182	2332	2,2
127	2210	1012	2,2
128	2994	1432	2,1
129	26032	12754	2,0
130	8103	3985	2,0
131	33934	16695	2,0
132	2854	1446	2,0
133	5266	2703	1,9
134	823	428	1,9
135	875	456	1,9
136	14339	7601	1,9
137	1705	907	1,9
138	18452	9901	1,9
139	3215	1730	1,9
140	2735	1501	1,8
141	28	16	1,8
142	3607	2031	1,8
143	1847	1049	1,8
144	7626	4341	1,8
145	12074	6899	1,8
146	620	354	1,8
147	4651	2710	1,7
148	3054	1799	1,7
149	14450	8536	1,7
150	4500	2692	1,7
151	2391	1499	1,6
152	64	40	1,6
153	3208	2093	1,5
154	1336	883	1,5
155	3272	2243	1,5
156	97	67	1,5
157	17183	12062	1,4
158	307	221	1,4
159	302	218	1,4
160	39	30	1,3

APÊNDICE A – Dados de cada SKU no ano de 2020 (continuação)

SKU	Und. Vendidas	Estoque Médio	Índice de Giro
161	3656	2880	1,3
162	308	248	1,2
163	180	150	1,2
164	17204	14725	1,2
165	32	29	1,1
166	208	186	1,1
167	10720	9891	1,1
168	148	153	1,0
169	3005	3171	0,9
170	146	160	0,9
171	460	515	0,9
172	51	59	0,9
173	284	329	0,9
174	122	149	0,8
175	2784	3505	0,8
176	42	54	0,8
177	2337	3143	0,7
178	26	37	0,7
179	5	7	0,7
180	89	128	0,7
181	7896	11544	0,7
182	15	23	0,7
183	17	27	0,6
184	62	105	0,6
185	86	145	0,6
186	2	4	0,5
187	6	13	0,5
188	63	135	0,5
189	32	83	0,4
190	6	16	0,4
191	2	5	0,4
192	117	332	0,4
193	20	58	0,3
194	10	29	0,3
195	51	218	0,2
196	171	844	0,2
197	9	50	0,2
198	13	78	0,2
199	6	37	0,2
200	4	35	0,1
201	20	180	0,1

APÊNDICE A – Dados de cada SKU no ano de 2020 (conclusão)

SKU	Und. Vendidas	Estoque Médio	Índice de Giro
202	171	1554	0,1
203	2	22	0,1
204	16	196	0,1
205	3	39	0,1
206	130	2006	0,1
207	2	48	0,04
208	10	580	0,02
209	2	473	0,004

APÊNCIDE B – Resultado obtido através da modelagem (continua)

SKU	POSIÇÃO	IG
1	ED1	870,15
2	EE2	373,48
3	ED2	315,26
4	EE3	181,92
5	ED3	115,96
6	DE1	92,17
7	EE4	48,01
8	ED4	46,30
9	DD2	43,45
10	DE2	41,97
11	EE5	40,04
12	ED5	39,85
13	DE3	39,28
14	DD3	30,85
15	CE1	27,92
16	EE6	27,83
17	ED6	26,60
18	DE4	25,43
19	DD4	24,50
20	CD2	23,55
21	CE2	23,44
22	EE7	21,28
23	ED7	20,71
24	DE5	20,64
25	DD5	20,53
26	CE3	18,98
27	CD3	17,97
28	ED8	17,06
29	EE8	16,26
30	DE6	15,31
31	DD6	14,97
32	CE4	14,64
33	CD4	14,43
34	EE9	14,24
35	ED9	13,99
36	DD7	13,76
37	DE7	13,46
38	CE5	13,11
39	CD5	12,90
40	EE10	12,81
41	ED10	12,59

APÊNDICE B – Resultado obtido através da modelagem (continuação)

SKU	POSIÇÃO	IG
42	DE8	11,17
43	DD8	11,12
44	CD6	10,79
45	CE6	10,73
46	EE11	10,48
47	ED11	10,13
48	DE9	10,06
49	DD9	9,76
50	CE7	9,62
51	CD7	9,45
52	DD10	9,25
53	DE10	9,05
54	CE8	9,02
55	CD8	8,76
56	EE12	8,70
57	ED12	8,64
58	DE11	8,55
59	DD11	8,39
60	CD9	8,35
61	CE9	8,00
62	EE13	7,99
63	ED13	7,54
64	CE10	7,38
65	CD10	7,30
66	EE14	7,07
67	ED14	6,90
68	DD12	6,59
69	DE12	6,44
70	CE11	6,36
71	CD11	6,01
72	EE15	5,92
73	ED15	5,77
74	DE13	5,68
75	DD13	5,58
76	ED16	5,44
77	EE16	5,22
78	DE14	5,18
79	DD14	5,16
80	CE12	5,12
81	CD12	4,94
82	EE17	4,93

APÊNDICE B – Resultado obtido através da modelagem (continuação)

SKU	POSIÇÃO	IG
83	ED17	4,85
84	DD15	4,79
85	DE15	4,75
86	CE13	4,57
87	CD13	4,52
88	EE18	4,33
89	ED18	4,30
90	DE16	4,26
91	DD16	4,21
92	CD14	4,15
93	CE14	4,02
94	EE19	3,98
95	ED19	3,98
96	DE17	3,94
97	DD17	3,85
98	CE15	3,84
99	CD15	3,82
100	ED20	3,74
101	EE20	3,74
102	DE18	3,67
103	DD18	3,58
104	CE16	3,56
105	CD16	3,56
106	ED21	3,48
107	EE21	3,33
108	DD19	3,25
109	DE19	3,24
110	CD17	3,15
111	CE17	3,06
112	ED22	3,01
113	EE22	3,00
114	DD20	2,97
115	DE20	2,97
116	CD18	2,95
117	CE18	2,84
118	DD21	2,70
119	DE21	2,70
120	CD19	2,55
121	CE19	2,41
122	ED23	2,39

APÊNDICE B – Resultado obtido através da modelagem (continuação)

SKU	POSIÇÃO	IG
123	EE23	2,35
124	DD22	2,34
125	DE22	2,25
126	CD20	2,22
127	CE20	2,18
128	ED24	2,09
129	EE24	2,04
130	CD21	2,03
131	CE21	2,03
132	ED25	1,97
133	EE25	1,95
134	DD23	1,92
135	DE23	1,92
136	CD22	1,89
137	CE22	1,88
138	ED26	1,86
139	EE26	1,86
140	DD24	1,82
141	DE24	1,80
142	ED27	1,78
143	EE27	1,76
144	DD25	1,76
145	DE25	1,75
146	CD23	1,75
147	CE23	1,72
148	ED28	1,70
149	EE28	1,69
150	DD26	1,67
151	DE26	1,59
152	CD24	1,59
153	CE24	1,53
154	ED29	1,51
155	EE29	1,46
156	DD27	1,46
157	DE27	1,42
158	CD25	1,39
159	CE25	1,38
160	ED30	1,29
161	EE30	1,27
162	DD28	1,24

APÊNDICE B – Resultado obtido através da modelagem (continuação)

SKU	POSIÇÃO	IG
163	DE28	1,20
164	CD26	1,17
165	CE26	1,12
166	ED31	1,12
167	EE31	1,08
168	DD29	0,97
169	DE29	0,95
170	CD27	0,91
171	CE27	0,89
172	ED32	0,87
173	EE32	0,86
174	DD30	0,82
175	DE30	0,79
176	CD28	0,78
177	CE28	0,74
178	ED33	0,71
179	EE33	0,70
180	DD31	0,69
181	DE31	0,68
182	CD29	0,65
183	CE29	0,63
184	DD32	0,59
185	DE32	0,59
186	CD30	0,50
187	CE30	0,48
188	ED34	0,47
189	EE34	0,39
190	DD33	0,37
191	DE33	0,37
192	CD31	0,35
193	CE31	0,35
194	ED35	0,35
195	EE35	0,23
196	CD32	0,20
197	CE32	0,18
198	ED36	0,17
199	EE36	0,16
200	DD34	0,11
201	DE34	0,11
202	CD33	0,11

APÊNDICE B – Resultado obtido através da modelagem (conclusão)

SKU	POSIÇÃO	IG
203	CE33	0,09
204	ED37	0,08
205	EE37	0,08
206	DD35	0,06
207	DE35	0,04
208	ED38	0,02
209	EE38	0,004

RESOLUÇÃO n°038/2020 – CEPE

ANEXO I
APÊNDICE ao TCC

Termo de autorização de publicação de produção acadêmica

O(A) estudante **Gustavo Marques de Oliveira** do Curso de **Engenharia de Produção**, matrícula 20161003700876, telefone: (62) 99620-9108 e-mail gustavomarkes403@gmail.com, na qualidade de titular dos direitos autorais, em consonância com a Lei n° 9.610/98 (Lei dos Direitos do autor), autoriza a Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC Goiás) a disponibilizar o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado **Otimização da alocação de produtos usando modelagem matemática em um centro de distribuição em Goiânia-GO**, gratuitamente, sem ressarcimento dos direitos autorais, por 5 (cinco) anos, conforme permissões do documento, em meio eletrônico, na rede mundial de computadores, no formato especificado (Texto (PDF); Imagem (GIF ou JPEG); Som (WAVE, MPEG, AIFF, SND); Vídeo (MPEG, MWV, AVI, QT); outros, específicos da área; para fins de leitura e/ou impressão pela internet, a título de divulgação da produção científica gerada nos cursos de graduação da PUC Goiás.

Goiânia, 14 de junho de 2021.

Assinatura do(s) autor(es): Gustavo Marques de Oliveira

Nome completo do autor: Gustavo Marques de Oliveira

Assinatura do professor-orientador: JSG

Nome completo do professor-orientador: Juliana Schmidt Galera