

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

PEDRO VINÍCIUS ECKEL MOREIRA

OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE PICKING EM SUPERMERCADOS: UM
MODELO MATEMÁTICO PARA ROTEAMENTO DE COLETA DE PEDIDOS EM
COMÉRCIO ELETRÔNICO

CURITIBA

2023

PEDRO VINÍCIUS ECKEL MOREIRA

OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE PICKING EM SUPERMERCADOS: UM
MODELO MATEMÁTICO PARA ROTEAMENTO DE COLETA DE PEDIDOS EM
COMÉRCIO ELETRÔNICO

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Gestão de Organizações, Liderança e Decisão, Setor de Ciências Sociais Aplicadas da Universidade Federal do Paraná, como requisito para obtenção do título de Mestre em Gestão de Organizações, Liderança e Decisão.

Área de Concentração: Operações e Sistemas de Decisão

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Valentim Loch

CURITIBA

2023

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS

Moreira, Pedro Vinícius Eckel

Otimização do processo de picking em supermercados : um modelo matemático para roteamento de coleta de pedidos em comércio eletrônico / Pedro Vinícius Eckel Moreira. – Curitiba, 2023.

1 recurso on-line : PDF.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Sociais Aplicadas, Programa de Pós-Graduação em Gestão de Organizações, Liderança e Decisão. Orientador: Prof. Dr. Gustavo Valentim Loch.

1. Comércio Eletrônico. 2. Supermercados. 3. Roteamento. I. Loch, Gustavo Valentim. II. Universidade Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Gestão de Organizações, Liderança e Decisão. III. Título.

Bibliotecária: Maria Lidiane Herculano Graciosa CRB-9/2008

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação GESTÃO DE ORGANIZAÇÕES, LIDERANÇA E DECISÃO da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **PEDRO VINÍCIUS ECKEL MOREIRA** intitulada: **OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE PICKING EM SUPERMERCADOS: UM MODELO MATEMÁTICO PARA ROTEAMENTO DE COLETA DE PEDIDOS EM COMÉRCIO ELETRÔNICO**, sob orientação do Prof. Dr. GUSTAVO VALENTIM LOCH, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 13 de Abril de 2023.

Assinatura Eletrônica
02/05/2023 11:00:12.0
GUSTAVO VALENTIM LOCH
Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica
02/05/2023 15:55:40.0
CLAUDIMAR PEREIRA DA VEIGA
Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica
02/05/2023 10:54:16.0
LEONARDO SILVA DE LIMA
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica
02/05/2023 12:17:54.0
JOSÉ ROBERTO FREGA
Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Dedico este trabalho à minha família e a todos que contribuíram para o meu desenvolvimento pessoal, acadêmico e profissional.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por ter me concedido saúde e perseverança para enfrentar os desafios impostos durante a realização deste trabalho.

Gostaria de expressar minha sincera gratidão à minha mãe, Leonila Eckel, que foi uma figura fundamental em minha jornada educacional. Desde o início, ela me ensinou a importância da educação e me incentivou a buscar conhecimento e aprimoramento constante. Sempre esteve presente em todos os momentos da minha vida, oferecendo palavras de encorajamento e apoio incondicional em momentos de dificuldade. Sua dedicação e amor inabaláveis são as razões pelas quais estou aqui hoje, concluindo este trabalho.

Ao meu pai, Claudio Mendes Moreira, agradeço por sua influência positiva em minha jornada. Desde cedo, ele incentivou a minha curiosidade e busca pelo conhecimento, despertando em mim um interesse pela aprendizagem que me acompanha até hoje. Suas conversas, conselhos e encorajamentos foram fundamentais para que eu persistisse nos meus estudos e não desanimasse diante dos desafios.

Agradeço de coração à minha noiva, Camila Rahmeier Kraulich, por ter sido minha companheira em todos os momentos deste trabalho e por ter me apoiado incondicionalmente em todas as etapas. Sua presença e encorajamento foram essenciais para que eu pudesse enfrentar os desafios e superar as dificuldades. Sem dúvida, sua dedicação e amor foram fundamentais para o sucesso deste projeto. Sou grato por ter você em minha vida.

Ao meu orientador, Professor Doutor Gustavo Valentim Loch, gostaria de expressar minha sincera gratidão por toda a orientação, apoio e valiosos conselhos que me foram oferecidos ao longo deste trabalho. Seu conhecimento e experiência foram essenciais para a realização desta pesquisa.

Agradeço aos professores do PPGOLD em especial ao Professor Doutor Cassius Tadeu Scarpin, que me proporcionaram uma formação acadêmica sólida e contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho com suas orientações, ensinamentos e discussões enriquecedoras.

Agradeço também aos meus amigos e colegas do Grupo de Tecnologia Aplicada à Otimização - GTA0, pelo incentivo e apoio mútuo, que tornaram a jornada mais leve e prazerosa.

*“Nada é tão maravilhoso que não possa existir, se admitido pelas leis da
Natureza.”*

Michael Faraday

RESUMO

O setor supermercadista representa uma parte significativa da economia brasileira, correspondendo a cerca de 7,5% do PIB em 2020. Embora a compra de alimentos online tenha enfrentado alguma resistência, a pandemia de COVID-19 acelerou o processo de digitalização e popularização das compras online, impulsionando os varejistas a buscar soluções para atender às necessidades dos clientes. A estratégia *Buy-Online-Pick-up-in-Store* (BOPS) tem sido amplamente adotada para integrar os canais de venda e proporcionar uma experiência mais fluida e satisfatória aos clientes. Nesse contexto, a coleta de itens dos pedidos dentro das lojas físicas é um processo-chave. O *picking* em um supermercado envolve a coleta de produtos solicitados pelo cliente, que podem estar em diferentes áreas da loja. Os separadores precisam se deslocar até o local onde o produto está armazenado, selecionar o item correto e levá-lo ao local de embalagem e expedição. O setor supermercadista enfrenta diversos desafios em relação ao processo de coleta de pedidos online, incluindo a falta de experiência dos separadores, a variedade de produtos disponíveis nas gôndolas e a presença de produtos semelhantes armazenados em diferentes áreas da loja. Ademais, a demanda aumenta durante os horários de pico, afetando a eficiência dos coletores que precisam lidar com o aumento no volume de pedidos e dificuldades em se movimentar entre os clientes. Superar esses desafios é crucial para garantir a satisfação dos clientes e a eficiência das empresas no setor supermercadista. Este trabalho propõe um modelo matemático de roteamento de coleta de itens em supermercados, com solução eficaz para os desafios específicos enfrentados pelo setor. A pesquisa resultou em um programa computacional que viabiliza o tratamento do layout irregular da loja, identifica possíveis gargalos no processo de coleta e permite um gerenciamento mais simplificado e eficiente dos pedidos. A implementação de uma interface web torna a solução acessível e fácil de usar para os usuários finais. A colaboração entre academia e mercado é crucial para aprimorar os processos e serviços, permitindo a direção de pesquisas acadêmicas para soluções práticas. Este trabalho contribuiu para a eficiência operacional e a satisfação dos clientes, além de oferecer um avanço teórico na área de roteamento de separadores em supermercados.

Palavras-chave: E-commerce; Setor Supermercadista; Problema de Roteamento de Separadores; Otimização de Processo; Eficiência Operacional.

ABSTRACT

The supermarket sector represents a significant part of the Brazilian economy, accounting for about 7.5% of the GDP in 2020. Although online food shopping has faced some resistance, the COVID-19 pandemic has accelerated the process of digitization and popularization of online shopping, driving retailers to seek solutions to meet customers' needs. The Buy-Online-Pick-up-in-Store (BOPS) strategy has been widely adopted to integrate sales channels and provide a smoother and more satisfactory experience to customers. In this context, collecting items from orders within physical stores is a key process. Picking in a supermarket involves collecting products requested by customers, which may be in different areas of the store. Pickers need to move to the location where the product is stored, select the correct item, and take it to the packaging and shipping area. The supermarket sector faces several challenges regarding the online order collection process, including the lack of experience of pickers, the variety of products available on the shelves, and the presence of similar products stored in different areas of the store. Moreover, demand increases during peak hours, affecting the efficiency of collectors who need to deal with the increase in the volume of orders and difficulties in moving around customers. Overcoming these challenges is crucial to ensure customer satisfaction and the efficiency of companies in the supermarket sector. This study proposes a mathematical model for routing item collection in supermarkets, with an effective solution for the specific challenges faced by the sector. The research resulted in a computer program that enables the treatment of irregular store layouts, identifies possible bottlenecks in the collection process, and allows for more simplified and efficient order management. The implementation of a web interface makes the solution accessible and easy to use for end-users. Collaboration between academia and the market is crucial to improve processes and services, enabling the direction of academic research towards practical solutions. This work contributed to operational efficiency and customer satisfaction, as well as offering theoretical advances in the area of picker routing in supermarkets.

Keywords: E-commerce; Supermarket Sector, Picker Routing Problem; Process Optimization; Operational Efficiency.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| FIGURA 1 - PROCESSO DE PEDIDOS ONLINE NO SUPERMERCADO | 22 |
| FIGURA 2 - PROCESSO CICLICO DA PESQUISA AÇÃO..... | 27 |
| FIGURA 3 - LAYOUT DE UMA UNIDADE DO SUPERMERCADO | 36 |
| FIGURA 4 - CRIAÇÃO DO LAYOUT DO SUPERMERCADO | 59 |
| FIGURA 5 - FUNCIONALIDADE DE SELECIONAR O SENTIDO DA COLETA | 60 |
| FIGURA 6 - TELA DE CADASTRO DE COLABORADOR | 62 |
| FIGURA 7 - SEÇÃO DE INFORMAÇÕES DO PRODUTO | 63 |
| FIGURA 8 - FUNCIONALIDADE DE MAPEAMENTO DO PRODUTO | 64 |
| FIGURA 9 - ROTEIRIZAÇÃO DO PEDIDO | 69 |
| FIGURA 10 - INDICADORES DA PLATAFORMA..... | 70 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|----|
| TABELA 1 - FATURAMENTO DOS SUPERMERCADOS (EM BILHÕES R\$)..... | 14 |
| TABELA 2 - NOTAÇÃO PARA EXIBIÇÃO DADOS E-COMMERCE..... | 37 |
| TABELA 3 - DADOS E-COMMERCE | 37 |
| TABELA 4 - PORCENTUAL DE PRODUTOS QUE POSSUEM DUAS OU MAIS POSIÇÕES | 39 |
| TABELA 5 - INDÍCES DO MODELO MATEMÁTICO | 40 |
| TABELA 6 - CONJUNTO DO MODELO MATEMÁTICO | 40 |
| TABELA 7 - PARÂMETROS DO MODELO MATEMÁTICO..... | 41 |
| TABELA 8 - VARIÁVEIS DE DECIÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO..... | 41 |
| TABELA 9 - RESULTADOS DOS TESTES..... | 42 |

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

ABRAS - Associação Brasileira de Supermercados
API - Application Programming Interface
AWS - Amazon Web Services
COVID - Corona Virus Disease
CNDL - Confederação Nacional de Dirigentes Lojistas
EAN - European Article Number
EC2 - Amazon Elastic Compute Cloud
IoT - Internet of Things
GLPK - GNU Linear Programming Kit
JSON - JavaScript Object Notation
PIB - Produto Interno Bruto
PO - Pesquisa Operacional
PR - Paraná
S3 - Amazon Simple Storage Service
SPC - Serviço de proteção ao crédito
TSP - Traveling Salesman Problem
URL - Uniform Resource Locator

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 14 |
| 1.1 OBJETIVOS | 15 |
| 1.1.1 Objetivo geral | 16 |
| 1.1.2 Objetivos específicos..... | 16 |
| 1.2 JUSTIFICATIVA | 16 |
| 1.3 LIMITAÇÕES..... | 18 |
| 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO..... | 18 |
| 2 DESCRIÇÃO E ANÁLISE DO PROBLEMA | 20 |
| 2.1 O ESTUDO DE CASO ABORDADO | 20 |
| 2.2 SUPERMERCADOS ONLINE | 23 |
| 3 METODOLOGIA | 27 |
| 4 OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE PICKING EM SUPERMERCADOS: UM MODELO MATEMÁTICO PARA ROTEAMENTO DE COLETA DE PEDIDOS EM COMÉRCIO ELETRÔNICO | 30 |
| 4.1 RESUMO..... | 30 |
| 4.2 INTRODUÇÃO | 31 |
| 4.3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA..... | 32 |
| 4.4 MÉTODOS DE PESQUISA | 35 |
| 4.5 MODELO MATEMÁTICO | 40 |
| 4.6 ANÁLISE DOS RESULTADOS | 42 |
| 4.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 44 |
| 4.8 REFERÊNCIAS | 45 |
| 5 CONCLUSÃO | 48 |
| REFERÊNCIAS | 51 |
| APÊNDICE A – PLATAFORMA DE CONTROLE E ROTEIRIZAÇÃO DE PEDIDOS PARA SUPERMERCADOS ONLINE | 55 |

1 INTRODUÇÃO

O setor supermercadista é um dos principais pilares do varejo e existem de forma estruturada desde 1910. Ainda assim, esses negócios passaram por algumas evoluções nas últimas décadas, sempre com o objetivo de levar produtos aos consumidores com mais comodidade, preços mais baixos e maior eficiência. Tais fatores influenciam na competitividade acirrada no setor (ELLICKSON, 2015).

Segundo dados publicados pela edição de junho de 2021 da Revista Super Hiper, o setor representa cerca de 7,5% do Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil de 2020 obtendo um faturamento anual de R\$ 554 bilhões, um avanço de 9,36% sobre 2019. O setor de supermercados no Brasil possui 91351 lojas e é responsável por 3 milhões de empregos diretos e indiretos (SUPERHIPER, 2021). A figura 1 apresenta a evolução do faturamento ao longo dos anos no setor supermercadista e demonstra o crescimento e expressividade do setor.

TABELA 1 - FATURAMENTO DOS SUPERMERCADOS (EM BILHÕES R\$)

| 2020 | 2019 | 2018 | 2017 | 2016 |
|------|-------|-------|-------|-------|
| 554 | 378,3 | 355,7 | 353,2 | 338,7 |

Fonte: ABRAS (2022)

Desta forma, a competitividade do setor supermercadista exige que as empresas busquem constantemente novas soluções e explorem melhor todos os processos e atividades que desenvolvem. A busca pela eficiência, o melhor entendimento do relacionamento com os consumidores e a melhor gestão dos custos e preços de venda dos produtos nas lojas têm se tornado fatores importantes para as organizações que enfrentam uma concorrência cada vez mais acirrada (BOTELHO et al., 2016; CENTENARO et al, 2017).

A popularização das compras online é uma tendência que tem se intensificado com o avanço da digitalização nos últimos anos. A pandemia de COVID-19, com suas restrições e medidas de distanciamento social, acelerou ainda mais esse processo e impulsionou muitos consumidores a experimentarem o comércio eletrônico para adquirir mantimentos e outros produtos essenciais (ALFONSO et al., 2021). Diante desse cenário, os varejistas tradicionais têm buscado novas soluções para se adaptar a essa realidade e atender às necessidades dos consumidores.

Nesse sentido, o conceito de *omnichannel* tem ganhado destaque como uma estratégia eficaz para integrar os canais de venda e proporcionar uma experiência mais fluida e satisfatória aos clientes. O objetivo principal de uma solução *omnichannel* é oferecer uma experiência contínua e integrada ao cliente, independentemente do canal que ele escolha para interagir com a empresa. Isso significa que os clientes podem iniciar uma interação em um canal, como um site ou aplicativo móvel, e, posteriormente, concluir a compra em outro canal, como uma loja física, sem perder o contexto ou ter que repetir informações (BELL; GALLINO; MORENO, 2014; VERHOEF et al., 2015). Dentre as várias abordagens possíveis, o método conhecido como *Buy-Online-Pick-up-in-Store* (BOPS) tem sido amplamente adotado por sua simplicidade e praticidade. A ideia é aproveitar as estruturas físicas já existentes, tanto para receber clientes em lojas físicas como para atender a pedidos online. Essa abordagem permite uma transição mais suave do modelo de negócio tradicional para o mundo digital, reduzindo os custos e o tempo necessários para implementar uma solução *omnichannel* completa (WOLLENBURG et al., 2018).

No entanto, muitos supermercados enfrentam dificuldades no cumprimento dos prazos devido a diversos fatores como o pequeno tamanho de lote, alta frequência de pedidos, sensibilidade ao tempo e chegada dinâmica de pedidos. Neste cenário, existe um processo-chave no atendimento de pedidos online dentro de tais organizações que é a coleta dos pedidos dentro das suas lojas. Por isto, como escolher os produtos nas prateleiras dos supermercados no menor custo e no menor tempo são questões críticas e que precisam ser resolvidas (COSTA E SILVA et al., 2016; ZHANG et al., 2019).

Esses desafios de coleta de pedidos podem ser resolvidos através de problemas de roteamento de coleta, que buscam minimizar a distância total percorrida, organizando a melhor ordem de coleta de produtos e coletando todos os itens de um ou mais pedidos (SCHOLZ; SCHUBERT; WÄSCHER, 2017). Assim, soluções eficientes de roteamento de coleta são essenciais para solucionar tais problemas e garantir a satisfação dos clientes e eficiência das empresas no setor supermercadista.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo do trabalho é propor uma solução para o problema de roteamento de coleta levando em consideração aspectos específicos dos supermercados. A seguir seguem os objetivos gerais e os específicos:

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é propor um modelo de programação linear inteira mista para resolver o problema de roteamento de coleta com restrições específicas para a realidade de um supermercado.

1.1.2 Objetivos específicos

- Analisar trabalhos correlatos, expondo suas contribuições na literatura para o tema;
- Propor um modelo matemático para o problema abordado;
- Construir o programa computacional que será responsável por tratar os dados de entrada, convertê-los no modelo exato e resolvê-lo.
- Desenvolver uma interface web para o programa computacional, tornando-o acessível e de fácil utilização para o usuário final.
- Apresentar análises e direcionar ações estratégicas que visem melhorar o desempenho dos separadores;

1.2 JUSTIFICATIVA

De acordo com um estudo realizado pela empresa de pesquisa Incisiv em colaboração com a publicação especializada em supermercados online Mercatus (2021), calcula-se que as vendas de supermercados online representem uma parcela significativa do mercado de varejo de alimentos nos EUA nos próximos anos. O estudo sugere que as vendas de comércio eletrônico de supermercado serão responsáveis por 9,5% do total de vendas de supermercado nos EUA em 2021, com projeção de crescimento para 11,1% em 2022 e 20,5% em 2026. Esses números são maiores do que as projeções pré-pandemia para as vendas de supermercados eletrônicos nos EUA, que esperavam que a participação online atingisse 5,4% do mercado total em

2021, subindo para 6,8% em 2022 e para 14,5% em 2026. Ainda que haja uma redução marginal em relação à estimativa de 2020, à medida que os consumidores dos EUA se ajustam ao retorno aos supermercados físicos, o crescimento do mercado de supermercados online permanece significativo.

Diante do cenário de mudança nos hábitos de consumo, impulsionado pela pandemia do COVID-19, as compras de supermercado por meio de aplicativos e sites tem crescido consideravelmente. Essa mudança tem gerado novos desafios e oportunidades para os supermercados, que precisam se adaptar a essa nova realidade e encontrar soluções eficientes para satisfazer as expectativas cada vez mais elevadas dos seus clientes.

No Brasil, foi constatado um aumento de 900% na receita das vendas online entre março de 2020 e julho de 2021. Além disso, o número de pedidos virtuais registrou um crescimento de 817% no mesmo período. Esses resultados evidenciam a busca do consumidor por novas formas de realizar suas compras devido à pandemia e ao isolamento social, impulsionando o crescimento das vendas digitais e por aplicativo. O ticket médio das compras online foi de R\$ 218,01, e a média de frequência de compras atingiu 175 pedidos por mês. Além disso, a taxa de conversão dessas transações foi de 16,14% (LINX, 2021).

No entanto, apesar do crescimento desse segmento, as pesquisas científicas focaram em desafios de marketing e gestão, como estratégias de preços, níveis de estoque e qualidade de serviço, deixando a otimização do processo pouco abordada. Além disso, existem poucas pesquisas específicas que abordem as restrições do setor supermercadista, especialmente no que se refere ao problema de roteamento de separação realizado dentro das lojas físicas dos supermercados.(FAN et al., 2019; PIETRI et al., 2021).

A necessidade de trabalhos que abordem a otimização do processo de coleta de pedidos em supermercados se justifica pela importância desse setor para a economia e pela crescente demanda por compras online de alimentos e produtos de consumo. Com o aumento da concorrência nesse mercado, é fundamental que os supermercados consigam oferecer um serviço eficiente e de qualidade, o que inclui a agilidade na coleta e entrega de pedidos. Além disso, a otimização do processo pode trazer benefícios como a redução de custos operacionais e a melhoria da experiência do cliente. Nesse sentido, trabalhos que abordem esse tema e apresentem soluções práticas para a otimização do processo de coleta de pedidos em supermercados

podem contribuir para o desenvolvimento desse setor e para a satisfação dos consumidores.

1.3 LIMITAÇÕES

O modelo de negócio de e-commerce em supermercados apresenta uma complexidade singular, tendo em vista a especificidade dos processos envolvidos. Nesse contexto, durante a pesquisa, foi dada prioridade ao estudo da seleção dos itens dos pedidos, porém, a análise de outros aspectos relevantes, como o dimensionamento de lotes e a entrega dos pedidos, não foram abordados. A escolha por se limitar a uma etapa específica se deve ao fato de que cada uma dessas áreas demanda uma análise detalhada e específica, o que pode comprometer a eficiência e qualidade do estudo como um todo. Desse modo, optou-se por focar na seleção dos itens dos pedidos, a fim de aprofundar a análise nessa etapa fundamental do processo de e-commerce em supermercados. Futuramente, outras áreas e processos do modelo de negócio poderão ser investigados de forma mais aprofundada, contribuindo para um entendimento mais completo e aprimorado da operação como um todo.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho é composto por cinco capítulos, iniciando com esta introdução que apresenta o objetivo geral e os objetivos específicos da pesquisa. O segundo capítulo aborda o contexto em que o problema real a ser solucionado surge, bem como os desafios enfrentados pelas empresas do setor supermercadista no contexto do comércio eletrônico.

Já o terceiro capítulo descreve a metodologia utilizada para a realização da pesquisa, incluindo as etapas do processo de coleta e análise de dados. O quarto capítulo consiste na apresentação do artigo: Otimização do processo de *picking* em supermercados: um modelo matemático para roteamento de coleta de pedidos em comércio eletrônico, onde será apresentado o modelo matemático desenvolvido para a otimização desse processo. Nesse capítulo serão detalhados os aspectos teóricos e práticos da implementação do modelo, incluindo a análise dos resultados obtidos.

A conclusão do trabalho apresentará uma síntese dos resultados obtidos e discutirá a contribuição do trabalho para a melhoria do processo gerenciamento de

pedidos em supermercados. Também, serão apresentadas possibilidades de continuidade do trabalho, como a validação experimental do modelo em um ambiente real de supermercado.

Além dos capítulos já apresentados, este trabalho conta com um apêndice dedicado ao desenvolvimento da aplicação web que permite a utilização do modelo matemático proposto. Nesse apêndice, são descritas todas as etapas de construção do programa computacional, bem como a interface desenvolvida para tornar o uso da ferramenta mais intuitivo e eficiente. A inclusão desse apêndice visa fornecer uma visão mais completa do trabalho realizado, permitindo que outros pesquisadores e interessados possam se aprofundar na aplicação prática dos resultados obtidos.

2 DESCRIÇÃO E ANÁLISE DO PROBLEMA

Um caso prático foi analisado dentro de uma rede supermercadista com o objetivo de apoiar a tomada de decisão dos funcionários ao realizar a coleta dos itens de um pedido. Atualmente a empresa conta com um *marketplace* externo que também realiza o controle dos pedidos, no entanto, toda a operação logística é realizada de forma manual sem nenhum tipo de apoio tecnológico para os colaboradores. Além disto, todo o controle de estoque, separação, expedição e as entregas são de responsabilidade da própria empresa.

2.1 O ESTUDO DE CASO ABORDADO

A Pesquisa Operacional (PO) tem se destacado como uma importante ferramenta para a resolução de problemas complexos em diversas áreas, incluindo o setor supermercadista. Seu principal objetivo é desenvolver modelos matemáticos e algoritmos que possam auxiliar na tomada de decisão de problemas gerenciais e operacionais (HILLIER; LIEBERMAN, 2012). Nesse contexto, a coleta de dados é fundamental para validar as soluções propostas neste trabalho, pois é por meio da análise dos dados que é possível entender os processos e desafios enfrentados pelas empresas do setor supermercadista. Foi realizada a coleta de dados em uma empresa do ramo, localizada no estado do Paraná, visando validar as soluções propostas neste trabalho e gerar insights para futuras pesquisas. A coleta de dados permitiu uma maior compreensão das particularidades do setor supermercadista, bem como dos desafios enfrentados pelas empresas e das oportunidades de melhorias nos processos.

O grupo analisado possui grande relevância na economia da região Sul do Brasil, com significativo número de colaboradores e um amplo alcance territorial. Com suas 57 lojas distribuídas em diversas cidades, atua em um mercado altamente competitivo e desafiador, onde é necessário oferecer produtos de qualidade, preços competitivos e um atendimento eficiente para manter a fidelidade dos clientes. Além disso, sua atuação não se restringe ao varejo de alimentos, com a presença de postos de gasolina e um centro de distribuição com uma grande área de armazenamento, o que evidencia a complexidade da gestão dos processos logísticos envolvidos.

A rede supermercadista, ao considerar uma visão estratégica de curto prazo, realizou um acordo comercial com duas grandes empresas do ramo de entrega de

comida e compras pela internet para explorar o segmento online. Nesse acordo, a responsabilidade do *marketplace* ficou com as empresas de entrega, enquanto o supermercado é responsável pela separação, expedição e entrega do pedido utilizando sua própria estrutura offline. Atualmente, 20 lojas da rede supermercadista fazem parte desse acordo, a maioria delas no estado do Paraná. Em média, cada loja atende 85 pedidos online por dia útil, contribuindo para aumentar a presença da empresa no ambiente digital e expandir suas oportunidades de negócio.

No atual contexto do e-commerce dessa rede supermercadista, não há uma otimização adequada em relação ao processo de *picking* realizado nas lojas físicas. Os pedidos recebidos pelos parceiros que administram o e-commerce são impressos em ordem alfabética ou aleatória, o que pode resultar em um desperdício de tempo e recursos. Após uma revisão preliminar da lista, o responsável pelo setor realiza a designação da atividade para um separador levando em consideração a experiência do profissional.

Além disso, a empresa adotou uma alternativa inovadora para este processo que é a contratação de trabalhadores por meio de aplicativos. O processo funciona da seguinte forma: as empresas interessadas em algum serviço que pode ser realizado sem experiência prévia se cadastram em um aplicativo específico, enquanto as pessoas que desejam realizar o serviço baixam o mesmo aplicativo. Dessa forma, as tarefas são disponibilizadas para os trabalhadores, que realizam o serviço em um determinado local e recebem pagamento pelo trabalho realizado.

O processo de *picking* em um supermercado consiste na coleta dos produtos solicitados pelo cliente, que podem ser feitos em diferentes áreas da loja. O profissional que atua na separação dos produtos precisa se deslocar até o local onde o produto está armazenado, escolher o item correto e levá-lo até o local de embalagem e expedição. Esse processo pode se tornar bastante desafiador quando se trata de um supermercado, devido à variedade de produtos disponíveis nas gôndolas. Os coletores muitas vezes precisam lidar com a falta de padronização na disposição dos produtos nas prateleiras, o que pode tornar difícil encontrar itens específicos. Além disso, é comum que produtos semelhantes estejam armazenados em diferentes áreas da loja, o que pode aumentar o tempo de coleta e a possibilidade de erros durante o processo.

Outro desafio enfrentado pelos coletores é a alta demanda durante os horários de pico, que pode gerar atrasos na entrega dos pedidos. Durante esses momentos, as lojas estão mais cheias e os clientes do e-commerce têm mais pressa para receber seus produtos. Essa pressão pode afetar a eficiência dos coletores, que precisam lidar com o aumento no volume de pedidos e a dificuldade de se movimentar em meio aos clientes que estão na loja. A figura 1, apresenta o fluxo que é realizado desde a chegada do pedido no supermercado até a entrega ou retirada.

FIGURA 1 - PROCESSO DE PEDIDOS ONLINE NO SUPERMERCADO



Fonte: Autor (2023)

Após a conclusão da coleta de todos os itens, os pedidos são entregues para colaboradores responsáveis pelo empacotamento e expedição. Dependendo do tipo de serviço solicitado pelo cliente, o fluxo do processo pode ser alterado. Quando o cliente opta por retirar o pedido na loja, o pedido é faturado e separado até que o responsável realize a retirada na loja. Já os clientes que contratam o serviço de entrega têm seus pedidos empacotados e faturados antes de serem levados para a expedição. Nesse momento, é realizado um processo de roteirização manual para definir a rota e a ordem de entrega do pedido.

Finalizada a definição da rota, os pedidos são agrupados e enviados para as transportadoras terceirizadas, responsáveis pela realização da entrega. Atualmente, o processo de entrega não conta com a utilização de tecnologias que possam otimizar ou monitorar o fluxo dos pedidos durante o transporte. Após a conclusão da entrega, o motorista retorna com as notas fiscais assinadas pelo cliente, que servem como comprovante da entrega.

2.2 SUPERMERCADOS ONLINE

De acordo com López et al. (2014), a revolução digital trazida pela internet é um fator que os varejistas de alimentos devem considerar em sua estratégia de negócios. Embora a participação de mercado do comércio online no varejo de alimentos seja relativamente baixa, correspondendo a apenas 3% a 5% nos últimos 15 anos, comparado com 50% no setor de viagens ou 35% em equipamentos eletrônicos, há duas razões importantes para as empresas investirem nesse nicho. Em primeiro lugar, devido às margens muito baixas do setor, perder 5% de clientes para uma estratégia online concorrente pode ter um impacto significativo nos resultados financeiros da empresa. Em segundo lugar, os clientes que priorizam as compras online são normalmente mais lucrativos, pois priorizam a conveniência em relação ao preço ou promoções. Portanto, é necessário que as redes varejistas tradicionais tomem medidas para se aproximar a esse mercado em expansão, antes que empresas que nasceram tecnológicas tomem esse lugar.

As compras de supermercado online se tornaram uma tendência que foram aceleradas com a pandemia e com as medidas de restrição para conter a disseminação do coronavírus, pois muitos consumidores foram obrigados a mudarem o seu canal de compra para a internet. As vendas do setor foram uma das categorias que obtiveram maior crescimento dentro desse período. No Brasil, cerca de 91% dos internautas realizaram compras pela internet em 2020, sendo que as compras de supermercado pela internet tiveram um salto de 9% de 2019 para 30% em 2020 (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE DIRIGENTES LOJISTAS; SERVIÇO DE PROTEÇÃO AO CRÉDITO, 2015). Devido à pandemia de COVID-19, a forma como os consumidores fazem suas compras de supermercado mudou drasticamente. Em meio a preocupações com a saúde e segurança, muitos consumidores optaram por fazer suas compras on-line. Dados coletados de quase 42.000 clientes de

supermercados em 20 estados nos EUA mostraram que 43% fizeram compras on-line em 2020, um aumento significativo em relação aos 24% em 2018. Mesmo com o relaxamento das restrições e a reabertura de lojas, a adoção de supermercados on-line cresceu de 14% para 49% dos entrevistados em 2021 (INCISIV; MECATUS, 2021).

Segundo a Incisiv e Mecatus (2021) entre as principais razões para comprar mantimentos on-line estão a conveniência (citada por 72% dos entrevistados) e a economia de tempo (45%). No entanto, 28% dos entrevistados disseram que suas preocupações com a saúde e o COVID-19 os levaram a usar serviços de compras de supermercado on-line. Além disso, 30% relataram que começaram a usar o serviço por causa da pandemia, mas decidiram mantê-lo porque é conveniente. Um aumento no número de categorias de compras on-line também foi observado em 2021, com 46% dos compradores relatando uma expansão em comparação com 34% em 2020. No entanto, o ticket médio caiu de US\$ 106 em 2020 para US\$ 92 em 2021, em grande parte devido à redução na compra de itens em grande quantidade no início da pandemia. Além disso, as compras mensais on-line também caíram 12%, de 2,6 para 2,3, à medida que mais clientes de supermercado retornaram às compras físicas.

O perfil típico do comprador online é urbano, com uma família com filhos pequenos e classe média / alta. Os usuários gastam em média 66 USD por pedido no Reino Unido e quando o consumidor muda da loja para a compra online, existe um aumento de 4% no ticket médio de compra no mesmo estabelecimento. Assim, o cliente online médio é ainda mais valioso para as varejistas de alimentos do que o comprador offline médio. (WORLD PANEL, 2015)

De acordo com a pesquisa de Goodman e Remaud (2015), um cliente médio americano gasta cerca de 41 minutos no estabelecimento durante uma compra. Entretanto, Larson et al. (2005) sugerem que grande parte desse tempo é desperdiçado, visto que muitas vezes os clientes precisam percorrer corredores em busca de produtos que estão em outros lugares, além de retornarem diversas vezes aos corredores e zonas onde já passaram para pegar itens remanescentes. Para os autores, os separadores treinados dos supermercados conseguem fazer compras de maneira mais eficiente do que os clientes devido ao seu maior conhecimento da loja, capacidade de agrupar pedidos e utilização de sistemas de informação para auxiliar na separação.

Além do tempo economizado, pode-se identificar diversos outros benefícios de se fazer compras online para os consumidores como: economia de deslocamento ao supermercado, evitar horas lotadas na hora de pico de atendimentos da loja, evitar filas desnecessários nos caixas de atendimento, não ter que transportar itens pesados para casa quando este usuário não possui um meio para tal, maior controle de despesas, maior gama de produtos, análises de descrição de itens com maior facilidade, preço com transparência e comparabilidade, reviews de produtos pelos próprios usuários e promoções online. (DE VUIJST; KESTELOO; HOOGENBERG, 2014; GOODMAN; REMAUD, 2015; LARSON; BRADLOW; FADER, 2005)

Para as redes varejistas a opção de compra online também possui grandes vantagens, a principal é que propicia a coleta de dados dos clientes de forma muito mais fácil. Quando um usuário navega em um e-commerce a plataforma coleta instantaneamente dados demográficos, histórico de pesquisa, navegação que o usuário realizou até chegar no e-commerce e todos os fluxos de clicks dentro da plataforma. Com esses dados a empresa pode ter informações importantes sobre os hábitos e preferências do cliente e com isto o usuário pode identificar vendas incrementais. (BREUER; FORINA; MOULTON, 2013)

Os supermercados online que utilizem as suas lojas como centro de distribuição de produtos possuem grandes desafios por causa do layout da instalação, fluxo de clientes na loja, coleta e armazenamento de itens perecíveis, expedição do pedido, transporte, entre outros problemas. Em um supermercado típico com o layout irregular o separador consegue coletar cerca de 70 itens por hora, enquanto um armazém com um layout otimizado para a separação desses itens este número poderia chegar entre 300 e 400 itens (MAGALHÃES, 2021; WORLDPANEL, 2015).

De acordo com Bartholdi e Hackman (2014), o tempo de viagem é o maior componente do trabalho em um centro de distribuição típico e a configuração dos corredores, estantes, racks, porta-paletes e outras estruturas afetam diretamente esse indicador, desta forma, para o centro de distribuição torna-se fundamental uma estrutura que leve em consideração um layout otimizado para o processo de coleta. No entanto, não se torna uma solução viável alterar o layout do supermercado para beneficiar o processo de separação já que isto resultaria em um comprometimento comercial do negócio offline, e como descrito anteriormente a contribuição dos pedidos online na receita dessas grandes redes supermercadistas ainda não superam as receitas oriundas dos negócios offline (CAO; SO; YIN, 2016).

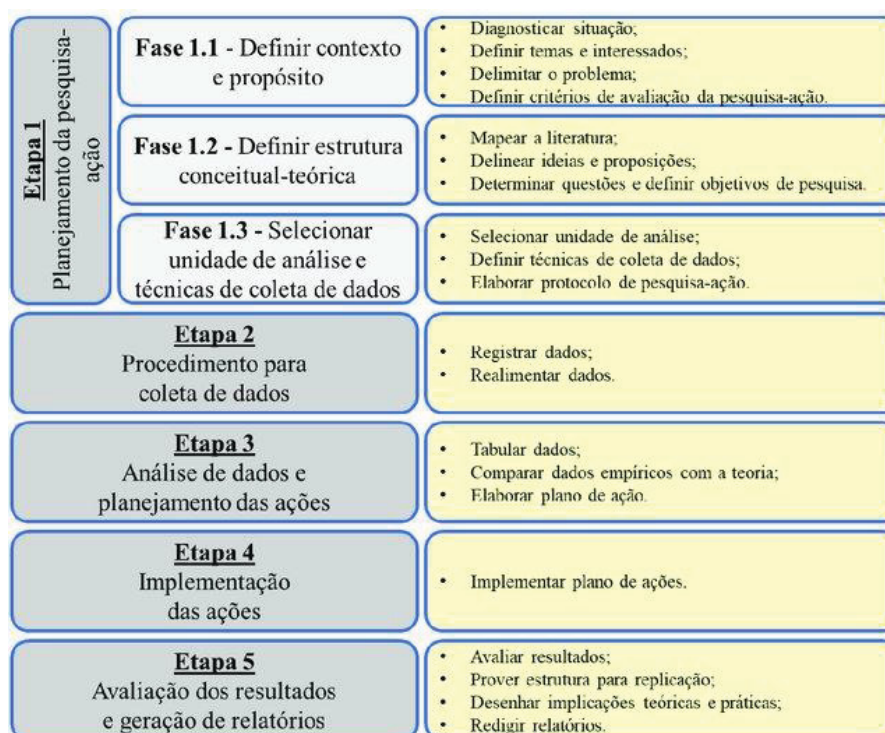
Para que pequenos supermercados ou grandes redes do setor varejista de alimentos possam se destacar no mercado online, é necessário que eles desenvolvam soluções que considerem as restrições específicas do seu layout e das suas mercadorias. O processo de *picking*, por exemplo, precisa ser viável comercialmente e agregar valor aos clientes. Por isso, é importante que sejam utilizadas tecnologias e metodologias adequadas que facilitem a localização dos produtos nas prateleiras, bem como sistemas de informação que auxiliem na separação dos pedidos. Com isso, é possível reduzir o tempo gasto pelos clientes no estabelecimento e aumentar a eficiência do processo de coleta de itens, gerando um maior valor para a empresa e para os consumidores.

3 METODOLOGIA

A metodologia é uma etapa crucial em qualquer trabalho de pesquisa, pois ela orienta o caminho a ser seguido para alcançar os objetivos propostos. Desta forma, neste trabalho foi utilizada a estratégia de pesquisa-ação aplicada em uma rede de supermercados de grande porte, onde um conjunto detalhado e sequencial de métodos e técnicas científicas são selecionadas e aplicadas para alcançar os objetivos iniciais da pesquisa de forma eficaz, rápida, confiável e com menor custo possível (BARRETO; HONORATO, 1998; MIGUEL et al. 2012).

A pesquisa-ação é uma estratégia que visa produzir conhecimento e resolver um problema prático, envolvendo pesquisadores e os participantes do problema de forma cooperativa e colaborativa, tendo como objetivos técnicos contribuir para equacionar um problema e levantar sugestões e propostas de ações para auxiliar o agente na solução do mesmo, e objetivos científicos de obter informações de difícil acesso, aumentando o conhecimento de determinadas situações na área de logística de suprimentos de uma rede de supermercados de grande porte (MIGUEL et al. 2012). O método de pesquisa-ação é composto por um processo cíclico de cinco etapas, como demonstrado na Figura 3.

FIGURA 2 - PROCESSO CICLICO DA PESQUISA AÇÃO



Fonte: Miguel et al. (2012)

Além disso, este trabalho caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, quantitativa e prescritiva, que visa solucionar problemas específicos e práticos em uma área de interesse, baseando-se na análise matemática dos dados para representar a realidade e seus resultados. A pesquisa prescritiva oferece sugestões ou recomendações de ações a serem tomadas para resolver um problema específico com base nos resultados obtidos (FONSECA, 2002).

De acordo com Prodanov e Freitas (2013), a pesquisa aplicada tem como objetivo utilizar o conhecimento científico e tecnológico em situações práticas para melhorar a eficácia de processos, produtos e serviços em uma área de interesse, diferenciando-se da pesquisa básica, que busca gerar conhecimento científico sem uma aplicação prática imediata. Portanto, a presente pesquisa tem como finalidade encontrar soluções para problemas específicos e práticos, aplicando o conhecimento científico e tecnológico em situações reais para melhorar a eficiência e eficácia de processos, produtos e serviços na área de logística de suprimentos de uma rede de supermercados de grande porte.

As etapas metodológicas foram divididas em revisão da literatura, coleta de dados, geração de instâncias, formulação do modelo matemático, resolução das instâncias, análise dos resultados e implementação de um sistema WEB. A revisão da literatura teve como objetivo aprofundar o conhecimento sobre o tema pesquisado e identificar a lacuna nas pesquisas científicas que abordem a resolução do problema de roteamento de separadores especificamente para as necessidades dos supermercados, onde um produto pode estar em duas ou mais localizações diferentes. A coleta de dados foi realizada em uma unidade de uma rede supermercadista na cidade de Curitiba-PR.

Para a geração de instâncias, foi utilizado um software para a criação de dados simulados baseados em informações reais. A formulação do modelo matemático seguiu os princípios da programação linear inteira mista, com objetivo de minimizar o tempo total de coleta dos pedidos. A resolução das instâncias para esta pesquisa foi realizada por meio do software de otimização Gurobi. Os resultados foram analisados e discutidos em relação às soluções encontradas, ao tempo de execução e à eficácia do modelo proposto.

Adicionalmente, foi realizada a implementação de um sistema WEB para a solução do problema em um ambiente prático. O sistema desenvolvido tem como

objetivo receber os dados de entrada, executar o modelo de otimização, apresentar os resultados ao usuário e permitir uma análise fundamentada em dados para a tomada de decisão.

A seguir, será apresentado o artigo completo que foi aceito e publicado em um periódico indexado, classificado como produção qualificada na área de atuação da CAPES e que substitui o texto da dissertação.

4 OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE PICKING EM SUPERMERCADOS: UM MODELO MATEMÁTICO PARA ROTEAMENTO DE COLETA DE PEDIDOS EM COMÉRCIO ELETRÔNICO

<https://doi.org/10.7769/gesec.v14i4.1997>

4.1 RESUMO

O comércio eletrônico tem sido uma oportunidade para as empresas acessarem um dos canais de venda mais rentáveis, a internet. A estratégia *Omnichannel* se consolidou no mercado, integrando os canais físicos e online para oferecer uma experiência de compra mais completa e personalizada aos clientes. No entanto, o segmento de alimentos online não se desenvolveu tão rapidamente quanto inicialmente esperado, o que levou a um certo ceticismo em relação a esse negócio. A pandemia da COVID-19 em 2020 causou uma mudança inesperada nesse cenário, forçando os supermercados a acelerar sua digitalização para encontrar novas maneiras de atender aos clientes em suas casas. O processo de separação, empacotamento e expedição de pedidos em uma loja online é conduzido por um responsável que atribui as atividades aos separadores levando em consideração a experiência do indivíduo. Embora os separadores mais experientes usem a topologia da loja para determinar o caminho mais eficiente, frequentemente os pedidos são atribuídos a trabalhadores com tempo parcial e sem vínculo empregatício, prejudicando o desempenho. Depois de coletados os itens, os pedidos são entregues a colaboradores responsáveis pelo empacotamento e expedição, sendo que o fluxo do processo é alterado de acordo com o tipo de serviço solicitado pelo cliente. Este trabalho apresenta e discute um modelo de programação linear inteira mista para solucionar o problema de roteamento de coleta com restrições específicas de um supermercado. Os testes realizados mostraram que a utilização de uma variação do modelo matemático do Problema do Caixeiro Viajante pode ser uma ferramenta útil para a tomada de decisões gerenciais na otimização do processo de *picking* em supermercados. Desta forma, os gestores podem definir estratégias específicas para melhorar a eficiência das entregas, reduzindo custos e tempo de espera dos clientes.

4.2 INTRODUÇÃO

O surgimento do comércio eletrônico proporcionou às empresas uma oportunidade única de acessar um dos canais de venda mais atraentes e rentáveis: a internet. Nos últimos anos, a estratégia *Omnichannel* se consolidou no mercado, integrando os canais físicos e online para oferecer uma experiência de compra mais completa e personalizada aos clientes (BELL; GALLINO; MORENO, 2014; HERHAUSEN ET AL., 2015).

Apesar do crescimento constante do comércio eletrônico nas últimas décadas, o segmento de alimentos online não se desenvolveu tão rapidamente e uniformemente quanto inicialmente esperado, o que levou a um certo ceticismo em relação a esse negócio (DE VUIJST; KESTELOO; HOOGENBERG, 2014; HERHAUSEN ET AL., 2015; HÜBNER; WOLLENBURG; HOLZAPFEL, 2016).

No entanto, a pandemia da COVID-19 em 2020 causou uma mudança inesperada nesse cenário, forçando os supermercados a acelerar sua digitalização para encontrar novas maneiras de atender aos clientes em suas casas. De março de 2020 a julho de 2021, esses negócios registraram um aumento exponencial de 900% na receita de vendas online, com um crescimento ainda maior de 817% no número de pedidos (LINX, 2021).

Essa transformação evidenciou a importância de se adaptar rapidamente às mudanças do mercado e da sociedade, além de mostrar o potencial do comércio eletrônico para as empresas. No entanto, é essencial considerar a complexidade do segmento de alimentos online e as necessidades específicas dos clientes para garantir uma experiência de compra satisfatória e fidelizar o consumidor. Na modalidade de compras online em supermercados, os pedidos são separados pelos coletores em pontos físicos de compras e coletados na loja ou entregues aos clientes por veículos próprios ou terceirizados, dentro de um período previamente acordado. No entanto, muitos supermercados enfrentam desafios em cumprir os prazos devido a diversos fatores, como o tamanho reduzido de lote, alta frequência de pedidos, sensibilidade ao tempo e dinâmica de chegada de pedidos. Nesse contexto, a coleta e a entrega de pedidos são dois processos-chave no atendimento de pedidos online em tais organizações, e escolher os produtos nas prateleiras dos supermercados e entregá-los aos clientes no menor custo e no menor tempo são questões críticas a serem resolvidas (COSTA E SILVA ET AL., 2016; ZHANG ET AL., 2019).

Este trabalho tem como objetivo apresentar e discutir um modelo de programação linear inteira mista para solucionar o problema de roteamento de coleta com restrições específicas de um supermercado. Embora as pesquisas científicas tenham se concentrado nos desafios de marketing e gestão do segmento online de supermercados, como estratégia de preços, níveis de estoque e qualidade de serviço, a área de otimização foi pouco mencionada. Por outro lado, o problema de roteamento de separação em armazéns foi amplamente pesquisado, porém, as restrições específicas do setor supermercadista não foram abordadas. É, portanto, necessário uma abordagem específica para o tema, pois entende-se que tal pesquisa contribuirá diretamente na melhoria do processo de coleta de pedidos dentro de supermercados, melhorará a experiência de compras online dos consumidores e, conseqüentemente, embasará a tomada de decisão dentro das organizações.

4.3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A tomada de decisão é um tema central na teoria da organização e tem sido abordado de diversas formas. Com o crescimento das empresas, as decisões se tornam cada vez mais complexas, tornando necessário compreender todos os aspectos envolvidos nessa atividade. Diversos pesquisadores têm estudado os processos decisórios com o objetivo de criar e aprimorar teorias para ajudar os indivíduos responsáveis por tomar as decisões a otimizar esse processo destacando as dificuldades que os tomadores de decisão enfrentam ao lidar com situações imprevisíveis (NUTT; WILSON, 2010).

O modelo de racionalidade plena foi um dos primeiros a explicar como as pessoas tomam decisões. Esse modelo supunha que os seres humanos são capazes de encontrar a solução ótima em um contexto de decisão utilizando apenas o processamento de informações disponíveis. No entanto, estudos posteriores mostraram que a tomada de decisão era mais complexa do que isso. Simon (1979) discutiu os pressupostos da racionalidade plena, argumentando que o decisor não pode processar todas as informações disponíveis e que ele não está descolado do ambiente em que está inserido. Além disso, os tomadores de decisão não podem estar isentos de seus próprios valores morais na hora de fazer seus julgamentos, o que pode afetar a tomada de decisão. O autor propôs uma visão racionalista limitada, onde

a visão racionalista deve investigar os limites da racionalidade humana nos processos decisórios.

Em seguida, Tversky e Kahneman (1974) propuseram um modelo de tomada de decisão baseado em heurísticas e vieses. As heurísticas são atalhos mentais que facilitam a tomada de decisão, permitindo que o indivíduo avalie muitas informações disponíveis de maneira simplificada para chegar a uma conclusão. Os vieses são preconceitos e valores pessoais que interferem no processamento e interpretação das informações disponíveis. Tanto as heurísticas quanto os vieses podem levar a erros de percepção, avaliação e julgamento que escapam da racionalidade ou não têm sentido matemático ou estatístico.

O modelo de tomada de decisão que ganhou notoriedade na literatura nas últimas décadas foi o modelo político, que entende as organizações como coalizões de pessoas competindo por interesses distintos. Segundo Pettigrew (1977), os processos políticos dentro das organizações envolvem tanto aspectos grupais, devido à divisão das atividades, quanto individuais. Para o autor, a política faz parte do processo decisório, especialmente quando há alocação de recursos em um cenário de escassez e interesses conflitantes.

O modelo de negócios dos supermercados online é baseado na possibilidade de os clientes realizarem compras de uma lista de itens de consumo através de plataformas digitais e, em seguida, garantir que os processos necessários sejam realizados para que o pedido seja entregue ao cliente dentro dos prazos pré-determinados. Esse negócio é composto por várias atividades que requerem tomadas de decisão, algumas que são visíveis diretamente para o cliente, como a plataforma de pedidos e a proposta de entrega de valor, e outras que são realizadas internamente na empresa e não são visíveis para o cliente, como as atividades operacionais de logística (MÜLLER-LANKENAU; WEHMEYER; KLEIN, 2005).

Hays et al. (2005) destacam que a diferenciação entre os supermercados online é baseada nos tipos de produtos que oferecem, nos serviços que prestam e nos mercados geográficos em que operam. Quando se trata de serviços, o método de atendimento e entrega do pedido é particularmente importante e, por isso, resultou em um negócio específico para cada tipo de modelo de negócio.

Para o autor, existem três modelos de negócios para supermercados online. O primeiro é conhecido como *Pure-play online*, que são negócios que operam exclusivamente online e não possuem lojas físicas. O segundo é o *Bricks-and-clicks*,

que consiste em uma estrutura de suporte offline para o negócio online do supermercado. Por fim, o modelo *Offline-online partnership*, que é mais utilizado atualmente pelos grandes *marketplaces*, onde existe um acordo comercial entre um negócio que é somente online com um supermercado offline para que as partes utilizem a estrutura uma da outra.

A separação de pedidos é um processo logístico em que os itens são coletados de seus locais de armazenamento para atender aos pedidos dos clientes (VAN GILS et al., 2018). Esse processo é um dos mais trabalhosos em um armazém, de acordo com Tompkins et al. (2010). O tempo de processamento é composto por cinco elementos principais: tempo do trajeto, tempo de busca, tempo de coleta, tempo de setup e outros. O tempo de viagem é o mais substancial desses cinco elementos, responsável por pelo menos 50% do tempo total da atividade (TOMPKINS et al., 2010).

A literatura científica sobre a seleção de pedidos em armazéns já abordou diversos problemas, como métodos de separação, design de layout, atribuição de armazenamento, roteamento do separador, lote de pedidos, zoneamento, agrupamento e classificação de pedidos (DE KOSTER ET AL., 2007). Esses problemas são agrupados em três níveis de decisão principais por Gray et al. (1992): layout da instalação e seleção de tecnologia, alocação de item e política operacional. Resolver todo o problema formalmente com um único modelo é impraticável, mesmo para caixas de tamanho pequeno. Por isso, esses problemas são tipicamente estudados de forma independente, embora haja esforços para abordar mais de um simultaneamente.

Para ilustrar o avanço da área ao longo do tempo, será apresentada a seguir uma revisão da literatura sobre roteamento de separação de pedidos em armazéns logísticos. Rarliff e Rosenthal (1983) abordaram o problema de roteamento de separação de pedidos com múltiplos objetivos em um armazém retangular com cruzamento apenas no final dos corredores. O modelo desenvolvido pelos autores considerou que o separador coletava os itens apenas para um pedido de cada vez e tinha a capacidade de transportar todos os itens naquela ordem.

Petersen (1997), por sua vez, confrontou a estratégia ótima de Rarliff e Rosenthal (1983) com outras cinco políticas de roteamento de separação de pedidos em um armazém logístico. O autor concluiu que as heurísticas combinadas, que procuraram combinar características específicas das heurísticas de retorno e

estratégia S-Shape, produziram os melhores resultados, gerando rotas cerca de 9% mais longas que as ideais. No entanto, as heurísticas são mais fáceis de serem entendidas pelos trabalhadores no dia a dia da operação, embora apresentem desempenho inferior à rota ótima. Além disso, a melhor heurística dependerá de fatores como o layout do depósito e o número de itens na lista de separação.

Koster e Poort (1998) propuseram uma extensão do algoritmo de Ratliff e Rosenthal (1983) para depósitos que não podem ser representados como grafos de monobloco em série paralela com armazéns distribuídos. Por outro lado, Roodbergen e De Koster (2001) estenderam seu trabalho anterior para depósitos com vários blocos (corredores horizontais adicionais) e um armazém central.

Theys et al. (2010) observaram que os algoritmos exatos de roteamento de separação de pedidos existem apenas em depósitos com no máximo três corredores transversais. Sendo assim, eles desenvolveram um método meta-heurístico para resolver os problemas de roteamento e sequenciamento de separadores de pedidos em depósitos de vários blocos. Os autores reformularam o problema de separação e roteamento de pedidos como um problema clássico do *Traveling Salesman Problem* (TSP) para se adaptar às heurísticas baseadas em TSP.

Chabot et al. (2017) introduziram, modelaram e resolveram o problema de roteamento de separação de pedidos sob restrição de peso, fragilidade e categoria. Os autores desenvolveram dois modelos matemáticos distintos para formular o problema e cinco métodos heurísticos, incluindo o algoritmo de busca da vizinhança adaptativa, que se demonstrou o melhor resultado. A revisão da literatura evidencia que o roteamento de separação de pedidos é um processo complexo e sujeito a diversas abordagens que devem ser adaptadas às necessidades específicas de cada depósito.

4.4 MÉTODOS DE PESQUISA

A etapa de coleta de dados sobre o problema estudado foi realizada em uma unidade de uma rede supermercadista na cidade de Curitiba-PR. Ao considerar o segmento online desta rede de supermercados sob uma perspectiva estratégica de curto prazo, a empresa decidiu estabelecer um acordo comercial com dois grandes players do setor de entrega de comida e compras pela internet. Como resultado, esses parceiros se tornaram responsáveis pelo *marketplace*, enquanto o supermercado se

encarregou da separação, expedição e entrega dos pedidos utilizando sua própria infraestrutura offline. Atualmente, esse acordo comercial envolve 20 lojas da rede de supermercados, a maioria localizada no estado do Paraná, que em média atendem a 85 pedidos online por dia útil.

No entanto, atualmente não há nenhuma otimização no processo de *picking* na loja. Os pedidos recebidos pelos parceiros que administram o e-commerce são impressos em ordem alfabética ou aleatória. Após uma revisão preliminar da lista, o responsável pelo setor atribui a atividade a um separador, levando em consideração a experiência do indivíduo. Embora o separador mais experiente use a topologia da loja para determinar o caminho mais eficiente, frequentemente os pedidos online são atribuídos a trabalhadores com tempo parcial e sem vínculo empregatício com a organização, o que prejudica o desempenho.

A figura 1 apresenta a complexidade do layout de uma das unidades da rede de supermercados estudadas neste trabalho.

FIGURA 3 - LAYOUT DE UMA UNIDADE DO SUPERMERCADO



Após a coleta de todos os itens, o separador entrega os pedidos para colaboradores responsáveis pelo empacotamento e expedição dos pedidos. Neste momento dependendo do tipo de serviço solicitado pelo cliente altera-se o fluxo do processo. Quando o cliente solicita a retirada na loja, depois que o processo de empacotamento é realizado, o pedido é faturado e separado até que o responsável realize a retirada na loja. Já os clientes que contrataram o serviço de entrega, depois de empacotado e faturado o pedido é levado para a expedição, onde é realizado um processo de roteirização de forma manual, rota e entrega do pedido até a localização apontado pelo cliente no momento da compra dentro da plataforma.

A tabela 1 e 2 apresenta os dados da janela de tempo de um mês de pedidos de uma loja da rede de supermercados. Atualmente o mercado atua com duas plataformas distintas, que por loja em média geram 85 pedidos por dia. A plataforma 1 é utilizada por clientes que querem realizar pedidos com poucos produtos, mas que possuem uma grande margem de lucro. Já a plataforma 2 é utilizada por clientes que realizam pedidos com uma quantidade de produtos maior e com uma menor margem de lucro.

TABELA 2 - NOTAÇÃO PARA EXIBIÇÃO DADOS E-COMMERCE

| | |
|------------|--|
| Dia | Dia do mês da informação |
| E-commerce | Plataforma de e-commerce |
| QTD V | Quantidade de vendas realizadas por plataforma por dia |
| QTD IU | Quantidade de itens únicos por plataforma por dia |
| QTD IT | Quantidade de itens totais por plataforma por dia |
| M IU | Média de itens únicos por plataforma por dia |
| M IT | Média de itens totais por plataforma por dia |

Fonte: O Autor (2022)

TABELA 3 - DADOS E-COMMERCE

| Dia | E-commerce | QTD V | QTD IU | QTD IT | M IU | M IT |
|-----|--------------|-------|--------|--------|--------|--------|
| 1 | Plataforma 1 | 44 | 268 | 414 | 6,091 | 9,411 |
| 1 | Plataforma 2 | 40 | 1314 | 2.331 | 32,850 | 58,268 |
| 2 | Plataforma 1 | 35 | 263 | 434 | 7,514 | 12,413 |
| 2 | Plataforma 2 | 55 | 1561 | 2.580 | 28,382 | 46,912 |
| 3 | Plataforma 1 | 32 | 285 | 440 | 8,906 | 13,738 |

| | | | | | | |
|----|--------------|----|------|-------|--------|--------|
| 3 | Plataforma 2 | 65 | 2327 | 4.470 | 35,800 | 68,769 |
| 4 | Plataforma 1 | 34 | 240 | 366 | 7,059 | 10,773 |
| 4 | Plataforma 2 | 80 | 2515 | 4.865 | 31,438 | 60,809 |
| 5 | Plataforma 1 | 40 | 258 | 399 | 6,450 | 9,975 |
| 5 | Plataforma 2 | 58 | 1986 | 3.408 | 34,241 | 58,754 |
| 6 | Plataforma 1 | 38 | 273 | 468 | 7,184 | 12,305 |
| 7 | Plataforma 1 | 36 | 350 | 545 | 9,722 | 15,131 |
| 7 | Plataforma 2 | 82 | 2447 | 4.660 | 29,841 | 56,832 |
| 8 | Plataforma 1 | 36 | 239 | 389 | 6,639 | 10,814 |
| 8 | Plataforma 2 | 76 | 2135 | 4.121 | 28,092 | 54,219 |
| 9 | Plataforma 1 | 40 | 280 | 414 | 7,000 | 10,357 |
| 9 | Plataforma 2 | 52 | 1359 | 2.851 | 26,135 | 54,818 |
| 10 | Plataforma 1 | 36 | 217 | 284 | 6,028 | 7,876 |
| 10 | Plataforma 2 | 57 | 1609 | 3.122 | 28,228 | 54,772 |
| 11 | Plataforma 1 | 41 | 239 | 460 | 5,829 | 11,215 |
| 11 | Plataforma 2 | 56 | 1769 | 3.615 | 31,589 | 64,546 |
| 12 | Plataforma 1 | 38 | 290 | 419 | 7,632 | 11,039 |
| 12 | Plataforma 2 | 56 | 1862 | 3.214 | 33,250 | 57,387 |
| 13 | Plataforma 1 | 43 | 313 | 422 | 7,279 | 9,807 |
| 14 | Plataforma 1 | 28 | 254 | 386 | 9,071 | 13,781 |
| 14 | Plataforma 2 | 57 | 1702 | 3.241 | 29,860 | 56,861 |
| 15 | Plataforma 1 | 27 | 188 | 301 | 6,963 | 11,166 |
| 15 | Plataforma 2 | 49 | 1175 | 2.129 | 23,980 | 43,454 |
| 16 | Plataforma 1 | 37 | 258 | 352 | 6,973 | 9,503 |
| 16 | Plataforma 2 | 50 | 1295 | 2.581 | 25,900 | 51,615 |
| 17 | Plataforma 1 | 35 | 248 | 414 | 7,086 | 11,816 |
| 17 | Plataforma 2 | 38 | 1267 | 2.219 | 33,342 | 58,397 |
| 18 | Plataforma 1 | 33 | 211 | 309 | 6,394 | 9,375 |
| 18 | Plataforma 2 | 54 | 1485 | 2.962 | 27,500 | 54,843 |
| 19 | Plataforma 1 | 33 | 244 | 321 | 7,394 | 9,735 |
| 19 | Plataforma 2 | 41 | 1034 | 2.020 | 25,220 | 49,274 |
| 20 | Plataforma 1 | 34 | 276 | 455 | 8,118 | 13,382 |
| 21 | Plataforma 1 | 45 | 404 | 645 | 8,978 | 14,339 |
| 21 | Plataforma 2 | 60 | 1697 | 3.210 | 28,283 | 53,505 |
| 22 | Plataforma 1 | 37 | 289 | 504 | 7,811 | 13,612 |
| 22 | Plataforma 2 | 60 | 1805 | 3.103 | 30,083 | 51,708 |
| 23 | Plataforma 1 | 35 | 241 | 456 | 6,886 | 13,039 |
| 23 | Plataforma 2 | 48 | 1143 | 2.104 | 23,813 | 43,825 |
| 24 | Plataforma 1 | 36 | 244 | 498 | 6,778 | 13,844 |
| 24 | Plataforma 2 | 51 | 1386 | 2.656 | 27,176 | 52,081 |
| 25 | Plataforma 1 | 35 | 284 | 465 | 8,114 | 13,295 |
| 25 | Plataforma 2 | 58 | 1929 | 3.825 | 33,259 | 65,950 |
| 26 | Plataforma 1 | 35 | 281 | 445 | 8,029 | 12,718 |
| 26 | Plataforma 2 | 41 | 1129 | 2.354 | 27,537 | 57,411 |
| 27 | Plataforma 1 | 29 | 193 | 274 | 6,655 | 9,454 |
| 28 | Plataforma 1 | 19 | 100 | 161 | 5,263 | 8,478 |
| 28 | Plataforma 2 | 41 | 1203 | 2.478 | 29,341 | 60,428 |
| 29 | Plataforma 1 | 31 | 309 | 575 | 9,968 | 18,551 |
| 29 | Plataforma 2 | 59 | 1810 | 3.486 | 30,678 | 59,085 |
| 30 | Plataforma 1 | 36 | 228 | 412 | 6,333 | 11,445 |
| 30 | Plataforma 2 | 61 | 1852 | 3.622 | 30,361 | 59,376 |
| 31 | Plataforma 1 | 37 | 234 | 444 | 6,324 | 12,010 |
| 31 | Plataforma 2 | 66 | 2083 | 4.172 | 31,561 | 63,208 |

Na etapa de geração de instâncias, inicialmente foram criados 5 cenários de pedidos, buscando replicar o ambiente onde o supermercado está atuando. Desta forma foi gerado aleatoriamente a posição dos produtos dentro do supermercado e a quantidade de produtos que possuem duas ou mais posições foram criadas de forma a respeitar o critério da tabela 3 abaixo:

TABELA 4 - PORCENTUAL DE PRODUTOS QUE POSSUEM DUAS OU MAIS POSIÇÕES

| Qtd Produtos | 5% | 10% | 20% | 30% |
|-----------------|----|-----|-----|-----|
| 5 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 10 | 0 | 1 | 2 | 3 |
| 22 | 1 | 2 | 4 | 6 |
| 30 | 1 | 3 | 6 | 9 |
| 40 | 2 | 4 | 8 | 12 |

Fonte: O autor (2022)

As localidades dos produtos dentro do supermercado foram geradas de forma aleatória, levando em consideração que é uma política de marketing dos supermercados onde os produtos que são considerados complementares a outros fiquem dispostos dentro de toda a estrutura do supermercado. Desta forma, foi calculada a matriz de distância utilizando a distância euclidiana, vale salientar que o próximo passo do referido trabalho é realizar o cálculo da matriz de distância respeitando o layout irregular do supermercado.

Após o entendimento do problema e pesquisa na literatura científica foi elaborado o modelo matemático e computacional. O programa computacional que foi responsável por tratar os dados de entrada, convertê-los no modelo exato e resolvê-lo foi desenvolvido utilizando o editor de código fonte autônomo Visual Studio Code e a linguagem computacional Python. Para a resolução do problema matemático foi utilizado o solver de otimização Gurobi Optimizer e para a validação do modelo proposto por este trabalho, foram realizados testes em um computador com sistema operacional Windows 11 Home Single Language, processador Intel(R) Core(TM) i7-8550U CPU @ 1.80GHz 1.99 GHz, memória RAM de 12GB e sistema operacional

de 64 bits. Para a resolução do problema foi definido um tempo limite de resolução de 200 segundos.

4.5 MODELO MATEMÁTICO

Este trabalho tem como objetivo propor uma solução para o problema de picking em lojas utilizando uma variante do *Traveling Salesman Problem (TSP)*, um problema NP-hard de otimização combinatória. O problema consiste em determinar a rota mais curta que conecta todos os clientes a serem visitados. Para isso, o problema é representado por um grafo ponderado $G = (V, A)$, onde V é o conjunto de produtos/clientes/depósitos a serem visitados e $A = \{(i, j) | i, j \in V\}$ é o conjunto de arestas que conectam todos os pares de vértices. Cada aresta $a \in A$ tem um custo C_{ij} , que pode ser a distância ou o tempo necessário para percorrer de i e j . O objetivo é encontrar o conjunto S de arestas que conectam o ponto inicial, percorrer todos os nós do grafo apenas uma vez e retornar ao ponto inicial, minimizando a soma dos custos C_{ij} (DANTZIG; FULKERSON; JOHNSON, 1954; DESROCHERS; LAPORTE, 1991).

Para tornar a abordagem mais clara, as tabelas 1, 2, 3 e 4 apresentam os índices, conjuntos, parâmetros e variáveis do modelo proposto. Com esta proposta, espera-se auxiliar gestores de lojas a melhorar a eficiência no processo de *picking* e, conseqüentemente, reduzir custos e aumentar a satisfação do cliente.

TABELA 5 - INDÍCES DO MODELO MATEMÁTICO

| | |
|-----|---|
| i | Ponto (localidade) inicial do trecho |
| j | Ponto (localidade) final do trecho |
| k | Novo ponto (localidade) final do trecho |
| p | Produto |

Fonte: O autor (2022)

TABELA 6 - CONJUNTO DO MODELO MATEMÁTICO

| | |
|-------|----------------------------------|
| N | Conjunto de pontos (localidades) |
| O_p | Conjunto de produtos |

Fonte: O autor (2022)

TABELA 7 - PARÂMETROS DO MODELO MATEMÁTICO

| | |
|----------|------------------------------------|
| C_{ij} | Custo para percorrer o arco ij . |
|----------|------------------------------------|

Fonte: O autor (2022)

TABELA 8 - VARIÁVEIS DE DECISÃO DO MODELO MATEMÁTICO

| | |
|----------|---|
| x_{ij} | Variável binária que assume o valor 1 se o arco ij for percorrido, 0 caso contrário |
| u_i | Ordem em que o local i será visitado |

Fonte: O autor (2022)

O modelo matemático é composto pela função objetivo (1) e pelos conjuntos de restrições (2)-(7) expostos abaixo:

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

Sujeito a:

$$\sum_{j=0}^N x_{0j} = 1 \quad (2)$$

$$\sum_{i=0}^N x_{ij} = \sum_{\substack{k=0 \\ k \neq j}}^N x_{jk}, \forall j \quad (3)$$

$$\sum_{i=0}^N \sum_{\substack{j \in O_p \\ j \neq i}} x_{ij} = 1, p \in P \quad (4)$$

$$u_i - u_j + (|P| + 1)x_{ij} \leq |P| \quad (5)$$

$$x_{ij} \in \{0; 1\} \quad (6)$$

$$u_i \in N, \quad i = 2, \dots, n \quad (7)$$

O modelo tem como função objetivo (1) minimizar a distância percorrida pelo separador ao coletar todos os itens do pedido. A restrição (2) garante que o início do circuito será realizado por uma origem fixa. Na restrição (3) é determinado o fluxo da operação, isto é, se o ponto i for utilizado como destino em um arco, este deverá ser

a origem de outro arco. Já a restrição (4) determina que um ponto será origem exatamente uma vez, levando em consideração que um produto pode estar em mais de uma localidade. Por fim, a restrição (5) evita subrotas e nas restrições (6) e (7) são definidos a natureza e os domínios das variáveis utilizadas no modelo.

4.6 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Conforme mencionado anteriormente, o Problema do Caixeiro Viajante pode ser adaptado ao problema abordado neste trabalho, tratando o carrinho de compras do separador como um veículo e as posições dos produtos como clientes a serem visitados. Foram realizados testes em 5 cenários diferentes, sendo que para cada um foram criadas instâncias considerando a realidade do estudo de caso.

A Tabela 8 apresenta os resultados desses testes, incluindo a quantidade de produtos na instância, a quantidade de localidades geradas aleatoriamente a partir de uma distribuição de probabilidade, o valor da solução, o tempo necessário em segundos para obter a solução correspondente, o MIPGap (caso ocorra) e o ganho obtido em comparação com a alocação de um produto em mais de uma localidade.

TABELA 9 - RESULTADOS DOS TESTES

| Produtos | Localidades | Solução | Tempo (s) | MIPGap | Ganho |
|----------|-------------|---------|-----------|--------|---------|
| 5 | 5 | 288,584 | 0,0520 | 0,000% | 0,000% |
| 5 | 6 | 236,844 | 0,0520 | 0,000% | 17,929% |
| 10 | 10 | 279,905 | 0,2100 | 0,000% | 0,000% |
| 10 | 11 | 279,905 | 0,2240 | 0,000% | 0,000% |
| 10 | 12 | 279,905 | 0,2940 | 0,000% | 0,000% |
| 10 | 13 | 264,257 | 0,4870 | 0,000% | 5,590% |
| 22 | 22 | 427,451 | 2,7600 | 0,000% | 0,000% |
| 22 | 23 | 422,394 | 7,8432 | 0,000% | 1,183% |
| 22 | 24 | 420,560 | 7,6521 | 0,000% | 1,612% |
| 22 | 26 | 417,977 | 9,4425 | 0,000% | 2,216% |
| 22 | 28 | 417,977 | 9,4343 | 0,000% | 2,216% |
| 30 | 30 | 425,013 | 7,3890 | 0,000% | 0,000% |
| 30 | 31 | 419,877 | 9,2690 | 0,000% | 1,208% |
| 30 | 33 | 413,159 | 20,7609 | 0,000% | 2,789% |
| 30 | 36 | 413,159 | 56,4537 | 0,000% | 2,789% |

| | | | | | |
|----|----|---------|----------|---------|---------|
| 30 | 39 | 412,709 | 168,6843 | 0,000% | 2,895% |
| 40 | 40 | 565,368 | 200,0337 | 4,204% | 0,000% |
| 40 | 42 | 563,350 | 200,0518 | 5,104% | 0,357% |
| 40 | 44 | 555,224 | 200,0469 | 5,460% | 1,794% |
| 40 | 48 | 550,832 | 200,0557 | 9,090% | 2,571% |
| 40 | 52 | 571,037 | 200,0381 | 13,073% | -1,003% |

Fonte: O autor (2022)

O primeiro cenário com cinco produtos, as localidades foram geradas aleatoriamente respeitando a distribuição apresentada na metodologia. Esse cenário apresentou a melhor porcentagem de ganho com 17% de eficiência se comparado com a rota anterior.

Conforme observado, ao adicionar uma localidade no início do trajeto diminuiu o custo total em 17%. Na prática isso se torna muito relevante para o supermercado, já que pequenos pedidos consistem em produtos como salgadinhos, aperitivos, chocolates e bombons que na planta estudada se localizam no final do supermercado. No entanto, existem unidades que estão próximas aos caixas de pagamentos e quando são adicionadas como possíveis destinos na rota geram um bom resultado total para o trajeto.

O segundo cenário consiste em 10 produtos e foram criadas instâncias para 10, 11, 12 e 13 localidades. A instância apresentou um cenário diferente já que as localidades adicionadas não afetaram a rota definida inicialmente, pois as posições estavam distantes da rota.

Já o terceiro e quarto cenários apresentaram o mesmo padrão de resultados. O terceiro cenário de 22 pontos foi testado e comparado instâncias de 22, 23, 24, 26 e 28 localidades. Para o quarto cenário de 30 pontos considerou-se localidades de 30, 31, 33, 36 e 39. O resultado para ambas foram os mesmos, quanto maior a quantidade de localidade dos itens, maior será a probabilidade de maior eficiência nas entregas, no entanto, o tempo de resolução aumenta de forma não proporcional. Por exemplo, para 30 produtos e 30 localidades o tempo de resolução foi de 7,388 segundos e para 30 produtos e 39 localidades o tempo de resolução aumentou para 168,684 segundos.

Por fim, o quinto cenário de 40 produtos e com localidades de 40, 42, 44, 48 e 52 atingiu o limite de tempo pré-determinado e por consequência apresentou gaps de resolução em todas as instâncias. Desta forma, a última instância com 52

localidades apresentou um resultado pior se comparada a instância que possuía a mesma quantidade de produtos e localidades.

4.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em um aspecto geral, a utilização do modelo matemático do Problema do Caixeiro Viajante pode ser uma ferramenta útil para a tomada de decisões gerenciais na otimização do processo de *picking* em supermercados. Com base nos resultados obtidos nos diferentes cenários, os gestores podem definir estratégias específicas para melhorar a eficiência das entregas, reduzindo custos e tempo de espera dos clientes.

Por exemplo, com base nos resultados obtidos no primeiro cenário, que mostrou uma eficiência de 17% na comparação com a rota anterior, os gestores podem avaliar a possibilidade de mudar a localização dos produtos em suas lojas, visando minimizar o tempo e a distância percorridos pelos separadores. Além disso, a análise dos diferentes cenários permite identificar as localidades que apresentam maior potencial de otimização e otimizar a rota dos separadores com base nesses dados.

Os resultados obtidos nos diferentes cenários também permitem aos gestores avaliar o tempo máximo de resolução do problema, definir estratégias de alocação de recursos, como a contratação de mais separadores para locais com maior volume de pedidos online, e identificar situações em que a resolução do problema pode ser inviável ou impraticável.

Em síntese, a utilização do modelo matemático do Problema do Caixeiro Viajante pode fornecer informações valiosas para os gestores na tomada de decisões estratégicas para a otimização do processo de *picking* em supermercados, permitindo a definição de estratégias mais efetivas e a alocação eficiente de recursos.

Possibilidades para estudos futuros, portanto, incluem a realização de testes em cenários e layouts mais complexos, a avaliação da eficácia do modelo em diferentes tipos de supermercados, a integração do modelo com outras tecnologias, como drones e inteligência artificial, e a avaliação da eficácia do modelo em diferentes contextos, como em situações de aumento de demanda e mudanças no layout dos supermercados. O aprimoramento da aplicação do modelo pode levar a melhorias

significativas na eficiência do processo de *picking* em supermercados e a redução de custos para gestores e clientes.

4.8 REFERÊNCIAS

BELL, D. R.; GALLINO, S.; MORENO, A. How to win in an omnichannel world. **MIT Sloan Management Review**, v. 56, n. 1, p. 45, 2014.

CHABOT, T. et al. Order picking problems under weight, fragility and category constraints. **International Journal of Production Research**, v. 55, n. 21, p. 6361–6379, 2 nov. 2017.

COSTA E SILVA, Eliana et al. A Mathematical Model for Supermarket Order Picking. In: **Progress in Industrial Mathematics at ECMI 2014 18**. Springer International Publishing, 2016. p. 189-196.

DANTZIG, G.; FULKERSON, R.; JOHNSON, S. Solution of a large-scale traveling-salesman problem. **Journal of the operations research society of America**, v. 2, n. 4, p. 393–410, 1954.

DE KOSTER, R.; LE-DUC, T.; ROODBERGEN, K. J. Design and control of warehouse order picking: A literature review. **European Journal of Operational Research**, v. 182, n. 2, p. 481–501, 16 out. 2007.

DE VUIJST, C.; KESTELOO, M.; HOOGENBERG, M. Click and Cash & How to profit in online grocery shopping. **Amsterdam: PwC**, 2014.

DESROCHERS, M.; LAPORTE, G. **Improvements and extensions to the Miller-Tucker-Zemlin subtour elimination constraints** *Operations Research Letters*.

GRAY, A. E.; KARMARKAR, U. S.; SEIDMANN, A. **Design and operation of an order-consolidation warehouse: Models and application** *European Journal of Operational Research*.

HAYS, T.; KESKINOCAK, P.; DE LÓPEZ, V. M. Strategies and Challenges of Internet Grocery Retailing Logistics. In: GEUNES, J. et al. (Eds.). **Applications of Supply Chain Management and E-Commerce Research**. Boston, MA: Springer US, 2005. p. 217–252.

HERHAUSEN, D. et al. Integrating Bricks with Clicks: Retailer-Level and Channel-Level Outcomes of Online-Offline Channel Integration. **Journal of Retailing**, v. 91, n. 2, p. 309–325, 1 jun. 2015.

HÜBNER, A.; WOLLENBURG, J.; HOLZAPFEL, A. Retail logistics in the transition from multi-channel to omni-channel. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 46, n. 6/7, p. 562–583, 4 jul. 2016.

KOSTER, R. DE; POORT, E. VAN DER. Routing orderpickers in a warehouse: a comparison between optimal and heuristic solutions. **IIE Transactions**, v. 30, n. 5, p. 469–480, 1998.

LINX. **Compras em casa: supermercados crescem 900% em vendas online**. Disponível em: <<https://www.linx.com.br/imprensa/compras-em-casa-supermercados-crescem-900-em-vendas-online/>>. Acesso em: 26 nov. 2021.

MÜLLER-LANKENAU, C.; WEHMEYER, K.; KLEIN, S. Multi-channel strategies: Capturing and exploring diversity in the European retail grocery industry. **International Journal of Electronic Commerce**, v. 10, n. 2, p. 85–122, dez. 2005.

NUTT, P. C.; WILSON, D. C. **Handbook of decision making**. [s.l.] John Wiley & Sons, 2010. v. 4

PETERSEN, C. G. An evaluation of order picking routing policies. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 17, n. 11, p. 1098–1111, 1 jan. 1997.

PETTIGREW, A. M. Strategy formulation as a political process. **International studies of management & organization**, v. 7, n. 2, p. 78–87, 1977.

RATLIFF, H. D.; ROSENTHAL, A. S. Order-Picking in a Rectangular Warehouse: A Solvable Case of the Traveling Salesman Problem. **Operations Research**, v. 31, n. 3, p. 507–521, jun. 1983.

ROODBERGEN, K. J.; KOSTER, R. Routing methods for warehouses with multiple cross aisles. **International Journal of Production Research**, v. 39, n. 9, p. 1865–1883, 1 jan. 2001.

SIMON, H. A. Rational decision making in business organizations. **The American economic review**, v. 69, n. 4, p. 493–513, 1979.

THEYS, C. et al. Using a TSP heuristic for routing order pickers in warehouses. **European Journal of Operational Research**, v. 200, n. 3, p. 755–763, 1 fev. 2010.

TOMPKINS, J. A. et al. **Facilities planning**. [s.l.] John Wiley & Sons, 2010.

TVERSKY, A.; KAHNEMAN, D. **Judgment under Uncertainty: Heuristics and Biases** New Series.

VAN GILS, T. et al. **Designing efficient order picking systems by combining planning problems: State-of-the-art classification and review** **European Journal of Operational Research** Elsevier B.V., , 16 maio 2018.

ZHANG, J. et al. The online integrated order picking and delivery considering Pickers' learning effects for an O2O community supermarket. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 123, p. 180–199, mar. 2019.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo principal contribuir para a otimização do processo de coleta de pedidos em supermercados por meio da proposição de um modelo matemático de roteamento de coleta de itens e sua implementação em um programa computacional com disponibilização em uma interface web. A pesquisa realizada proporciona uma análise gerencial relevante, com aplicação prática no setor supermercadista, podendo impactar positivamente a tomada de decisão em empresas que buscam melhorar seus processos operacionais. A solução proposta neste estudo traz benefícios diretos, como aumento da eficiência e redução de custos, além de possibilitar aprimoramentos contínuos na gestão de pedidos em comércio eletrônico.

O modelo matemático sugerido possibilita uma solução eficaz no roteamento de separadores em supermercados, levando em consideração as restrições específicas do setor. O programa computacional desenvolvido neste trabalho teve um papel fundamental na viabilização do tratamento de um dos maiores desafios no roteamento de separadores em supermercados: o layout irregular. Com o objetivo de superar essa dificuldade, o sistema criado utiliza uma planta baixa da loja para criar um grid com linhas e colunas, que permite o cálculo de todas as distâncias dentro do estabelecimento. Dessa forma, é possível considerar todas as barreiras e obstáculos presentes no ambiente, proporcionando uma visão clara da disposição dos produtos nas gôndolas e, conseqüentemente, uma coleta de pedidos mais eficiente e precisa.

A implementação de uma interface web para o programa é um diferencial importante, tornando a solução acessível e de fácil uso para os usuários finais e permitindo sua implementação em larga escala. A análise dos resultados permite identificar gargalos e direcionar ações estratégicas que visam melhorar o desempenho dos separadores, aumentando a eficiência operacional e reduzindo custos. Dessa forma, gestores e tomadores de decisão no setor supermercadista podem se beneficiar diretamente dos resultados desta pesquisa, adotando as soluções propostas e aperfeiçoando seus processos operacionais.

Do ponto de vista teórico, este trabalho contribui para o avanço do conhecimento na área de roteamento de separadores em supermercados, oferecendo uma compreensão aprofundada do problema e direcionando ações estratégicas para melhorar o desempenho dos separadores. Outro ponto a ser destacado, se refere a implementação do sistema, juntamente com as tecnologias utilizadas, que pode ser

utilizada como referência para outros pesquisadores que desejam implementar soluções semelhantes. Isso pode ajudar a disseminar o conhecimento e as soluções propostas por este trabalho, ampliando seu impacto no setor supermercadista e na pesquisa operacional e de tomada de decisão.

Durante o desenvolvimento deste estudo, foi possível identificar pontos importantes relacionados ao processo de coleta de pedidos em supermercados. Um desses pontos é a importância de se ter uma equipe de separadores com conhecimento prévio da loja e do layout, o que nem sempre é possível em virtude da alta rotatividade de colaboradores nesse tipo de trabalho. A ferramenta desenvolvida neste estudo contribui para a otimização da coleta de pedidos e sua disponibilização de forma online, permitindo que os colaboradores tenham acesso facilitado ao roteamento e à localização dos produtos, independentemente de sua experiência prévia na loja. Isso resulta em um processo mais eficiente e eficaz, que contribui para a satisfação dos clientes e melhoria dos resultados da empresa. Além disso, a utilização de ferramentas tecnológicas torna-se uma alternativa para automatizar e simplificar esse processo, melhorando a precisão e a eficiência do serviço prestado aos clientes online.

No contexto da otimização do processo de coleta de pedidos em supermercados, um ponto importante a ser considerado é o gerenciamento da plataforma por parte da organização. Com a implementação da solução proposta neste estudo, que inclui a criação do mapa da loja, é possível ter um controle preciso e atualizado da localização dos produtos, permitindo um gerenciamento mais eficiente do espaço disponível e garantindo que os produtos estejam posicionados de forma cômoda e visível para os clientes.

A utilização da solução desenvolvida neste trabalho também permite que todos os pedidos sejam gerenciados em uma única plataforma, o que é uma grande vantagem em relação à situação atual em que o supermercado precisa acessar vários softwares diferentes para visualizar e gerenciar seus pedidos. Isso permite um gerenciamento mais simplificado e eficiente dos pedidos, além de possibilitar uma maior integração entre os diferentes setores da organização.

A criação de um mapa da loja também pode ser útil na identificação de possíveis gargalos no processo de coleta de pedidos e na tomada de decisão estratégica para aprimorar o processo. Por exemplo, pode ser possível identificar áreas da loja que são frequentemente visitadas pelos separadores, mas que possuem

uma alta densidade de produtos, o que pode levar a atrasos no processo de coleta. Com essa informação, é possível pensar em alternativas para otimizar a disposição dos produtos ou aumentar a eficiência dos separadores nessa área da loja.

Com base nos resultados obtidos nesta pesquisa, é possível identificar possíveis caminhos para pesquisas futuras. Uma possibilidade seria a investigação de como a implementação do programa computacional desenvolvido impacta na redução de custos e aumento da eficiência do processo de coleta de pedidos em supermercados. Outra perspectiva seria a realização de estudos que investiguem a percepção dos consumidores em relação à experiência de compra em supermercados online, considerando a aplicação do modelo matemático proposto neste trabalho. Além dessas sugestões, outro trabalho futuro interessante seria incorporar ao modelo informações sobre o dimensionamento de lotes e a entrega dos pedidos. Essas informações poderiam ajudar a otimizar ainda mais o processo de coleta de pedidos, garantindo que os pedidos sejam entregues dentro do prazo e de forma eficiente. Outra possibilidade seria a aplicação do modelo em outros setores além do supermercadista, como em empresas de comércio eletrônico ou de distribuição de produtos, para verificar sua eficácia e possíveis adaptações.

A colaboração entre academia e mercado é fundamental para o desenvolvimento de soluções inovadoras que possam trazer benefícios para as empresas e para a sociedade em geral. Este trabalho exemplifica essa parceria, uma vez que se originou na academia e foi desenvolvido em colaboração com uma rede de supermercados. A pesquisa apresenta uma análise gerencial relevante e impacta positivamente a tomada de decisão em empresas do setor, buscando aprimorar o processo de gestão de pedidos. A integração entre academia e mercado é crucial, pois permite o direcionamento de pesquisas acadêmicas para soluções práticas e fornece às empresas pesquisas de ponta para aprimorar seus processos e serviços.

REFERÊNCIAS

- ALFONSO, V. et al. E-commerce in the pandemic and beyond. **BIS Bulletin**, 36. 2021.
- BARRETO, Alcyrus Vieira Pinto; HONORATO, Cezar Teixeira. **Manual sobrevivência na selva acadêmica**. Objeto Direto, 1998.
- BARTHOLDI, John J.; HACKMAN, Steven T. **Warehouse & Distribution Science: Release 0.89**. Atlanta: Supply Chain and Logistics Institute, 2008.
- BELL, D. R.; GALLINO, S.; MORENO, A. How to win in an omnichannel world. **MIT Sloan Management Review**, v. 56, n. 1, p. 45, 2014.
- BREUER, P.; FORINA, L.; MOULTON, J. **Beyond the hype: Capturing value from big data and advanced analytics**. Disponível em: https://www.mckinsey.com/client_service/retail/latest_thinking/perspectives_second_edition/~/_media/89B5A2D76B5E4C15AF2470BBD9D4370B.ashx. Acesso em: 22 out. 2022.
- BOTELHO, Delane; GUISSONI, Leandro. Varejo: competitividade e inovação. **Revista de Administração de Empresas**, v. 56, p. 596-599, 2016.
- CAO, J.; SO, K. C.; YIN, S. Impact of an “online-to-store” channel on demand allocation, pricing and profitability. **European Journal of Operational Research**, v. 248, n. 1, p. 234–245, 1 jan. 2016.
- CENTENARO, Andressa; LAIMER, Claudionor Guedes. Relações de cooperação e a competitividade no setor supermercadista. **Revista Brasileira de Gestão de Negócios**, v. 19, p. 65-81, 2017.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE DIRIGENTES LOJISTAS; SERVIÇO DE PROTEÇÃO AO CRÉDITO. **91% dos internautas realizaram compras pela internet nos últimos 12 meses, aponta pesquisa CNDL/SPC Brasil**. Disponível em: <https://site.cndl.org.br/91-dos-internautas-realizaram-compras-pela-internet-nos-ultimos-12-meses-aponta-pesquisa-cndlspc-brasil/>. Acesso em: 23 out. 2021.

COSTA E SILVA, Eliana et al. A Mathematical Model for Supermarket Order Picking. In: **Progress in Industrial Mathematics at ECMI 2014 18**. Springer International Publishing, 2016. p. 189-196.

DA FONSECA, J. J. S. **Apostila de metodologia da pesquisa científica**. [s.l.] João José Saraiva da Fonseca, 2002.

DE VUIJST, C.; KESTELOO, M.; HOOGENBERG, M. Click and Cash & How to profit in online grocery shopping. **Amsterdam: PwC**, 2014.

ELLICKSON, P. B. **The Evolution of the Supermarket Industry: From A&P to Walmart ***. Disponível em: <<http://www.fmi.org/research-resources/supermarket->>.

FAN, C. et al. Online and offline cooperation under buy-online, pick-up-in-store: Pricing and inventory decisions. **Journal of Industrial and Management Optimization**, v. 15, n. 3, p. 1455–1472, 2019.

GOODMAN, S.; REMAUD, H. Store choice: How understanding consumer choice of “where” to shop may assist the small retailer. **Journal of Retailing and Consumer Services**, v. 23, p. 118–124, 1 mar. 2015.

INCISIV; MERCATUS. **eGrocery's New Reality: The Pandemic's Lasting Impact on US Grocery Shopping Behavior**. [S.l.]: Incisiv, 2021. Disponível em: <https://info.mercatus.com/egrocery-shopper-behavior-report>. Acesso em: 22 mar. 2023.

HILLIER, Frederick S.; LIEBERMAN, Gerald J. **Introdução à pesquisa operacional**. McGraw Hill Brasil, 2013.

LARSON, J. S.; BRADLOW, E. T.; FADER, P. S. An exploratory look at supermarket shopping paths. **International Journal of Research in Marketing**, v. 22, n. 4, p. 395–414, dez. 2005.

LÓPEZ, Enrique García; SAID, Rémi; WESTPHELY, Khiloni. **How to win in online grocery: Advice from a pioneer**. 2014.

MAGALHÃES, D. J. A. V. DE. Analysis of critical factors affecting the final decision-making for online grocery shopping. **Research in Transportation Economics**, v. 87, 1 jun. 2021.

MIGUEL, P. A. C.; FLEURY, A.; MELLO, C. H. P.; NAKANO, D. N.; TURRIONI, J. B.; HO, L. L.; MORABITO, R.; MARTINS, R. A.; SOUSA, R.; COSTA, S.E.G; PUREZA, V. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2ª ed., 2012

PIETRI, N. O. et al. The buy-online-pick-up-in-store retailing model: Optimization strategies for in-store picking and packing. **Algorithms**, v. 14, n. 12, 1 dez. 2021.

PRODANOV, Cleber Cristiano; DE FREITAS, Ernani Cesar. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico-2ª Edição**. Editora Feevale, 2013.

VERHOEF, Peter C.; KANNAN, Pallassana K.; INMAN, J. Jeffrey. From multi-channel retailing to omni-channel retailing: introduction to the special issue on multi-channel retailing. **Journal of retailing**, v. 91, n. 2, p. 174-181, 2015.

SCHOLZ, A.; SCHUBERT, D.; WÄSCHER, G. Order picking with multiple pickers and due dates – Simultaneous solution of Order Batching, Batch Assignment and Sequencing, and Picker Routing Problems. **European Journal of Operational Research**, v. 263, n. 2, p. 461–478, dez. 2017.

SUPERHIPER. Revista da Associação Brasileira de Supermercados. **ano 47, n. 537**, jun. 2021.

WOLLENBURG, Johannes et al. From bricks-and-mortar to bricks-and-clicks: Logistics networks in omni-channel grocery retailing. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 48, n. 4, p. 415-438, 2018.

WORLD PANEL, K. Accelerating the growth of e-commerce in FMCG. **report, London**, 2015.

ZHANG, J. et al. The online integrated order picking and delivery considering Pickers' learning effects for an O2O community supermarket. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 123, p. 180–199, mar. 2019.

APÊNDICE A – PLATAFORMA DE CONTROLE E ROTEIRIZAÇÃO DE PEDIDOS PARA SUPERMERCADOS ONLINE

1 TECNOLOGIAS E FERRAMENTAS UTILIZADAS

Para a implementação do sistema de controle e roteirização de pedidos para supermercados online, foram utilizadas diversas tecnologias e ferramentas que permitiram a criação de uma solução eficiente e acessível aos usuários. Neste apêndice, serão apresentadas as principais tecnologias empregadas no desenvolvimento do sistema, incluindo linguagens de programação, frameworks e bibliotecas, além das ferramentas utilizadas para o gerenciamento de banco de dados, hospedagem e integração do sistema com outras plataformas. O objetivo é fornecer uma visão geral das tecnologias e ferramentas utilizadas, de forma a possibilitar uma melhor compreensão do processo de desenvolvimento e das funcionalidades do sistema implementado.

1.1 TECNOLOGIAS

A roteirização de coletores dentro de um supermercado é um desafio logístico que como demonstrado pode ser otimizado com a ajuda de tecnologias da informação. Nesse contexto, foi desenvolvido um sistema web para aprimorar a eficiência da roteirização e minimizar o tempo gasto pelos coletores dentro do estabelecimento implementado toda a lógica de dados necessária para auxiliar os tomadores de decisão nas suas respectivas tarefas diárias. A seguir, serão apresentadas as principais tecnologias e ferramentas utilizadas, assim como, todo o processo de implementação e utilização desse sistema.

A escolha da linguagem de programação é um fator essencial para o sucesso do desenvolvimento de qualquer sistema web. No caso deste projeto de implementação, optou-se pelo JavaScript, uma linguagem amplamente utilizada na criação de aplicações modernas para a web. Com essa escolha, foi possível construir interfaces de usuário dinâmicas e responsivas, além de permitir a utilização da mesma linguagem tanto no lado do cliente quanto do servidor.

Para implementar o programa computacional (*backend* do sistema) responsável pelas regras de negócio, comunicação com o banco de dados e com

serviços externos, segurança da aplicação e tratamento de informações que seriam enviadas para o modelo matemático, utilizou-se o framework Node.js. Esse framework é baseado no JavaScript e foi desenvolvido com o objetivo de construir aplicações web escaláveis e eficientes. O Node.js oferece um modelo de programação assíncrono e não bloqueante, o que permite que o servidor continue a processar outras solicitações enquanto aguarda as respostas das solicitações anteriores. Esse recurso é particularmente importante para aplicações que exigem alta escalabilidade e desempenho, tornando o Node.js uma escolha ideal para o desenvolvimento do backend desse sistema.

No caso da implementação do sistema de otimização de roteirização de coletores em um supermercado, o banco de dados escolhido foi o PostgreSQL. O PostgreSQL é um sistema de gerenciamento de banco de dados relacional, robusto e escalável, que oferece uma ampla gama de recursos para armazenar e manipular dados de maneira eficiente e segura. Com a utilização desse banco de dados, foi possível armazenar e gerenciar de forma eficiente os dados relacionados aos colaboradores, layout da loja, aos itens do supermercado e às rotas de coleta, garantindo um alto desempenho e confiabilidade para o sistema. Além disso, o PostgreSQL é um banco de dados *open-source* e possui uma comunidade ativa de desenvolvedores que continuamente trabalham para melhorar a segurança e a eficiência do sistema, tornando-o uma escolha confiável para o desenvolvimento de aplicações *web* que demandam complexidade computacional como essa.

A escolha do solver de otimização é outro fator importante para a eficiência e precisão para o planejamento do sistema de otimização, e no caso desta pesquisa, optou-se pelo Gurobi. No entanto, durante o desenvolvimento do sistema, foi percebido que a utilização desse solver poderia resultar em altos custos de licença para o uso comercial. Diante desse cenário, decidiu-se trocar o solver de otimização do Gurobi para o GLPK, um solver *open-source* e gratuito. Apesar de não possuir todos os recursos de um solver comercial, o GLPK é uma excelente alternativa devido à sua eficiência e escalabilidade para a otimização de problemas complexos. Ademais, a utilização do GLPK em um ambiente *serverless* possibilitou uma significativa redução nos custos de infraestrutura que um projeto desse porte exigiria.

Por fim, para implementar a interface gráfica do projeto (frontend), escolheu-se o framework Next.js. Esse framework é baseado no React, uma biblioteca JavaScript amplamente utilizada na criação de interfaces de usuário. O Next.js oferece

recursos avançados para a construção de aplicações web, como roteamento dinâmico de URLs, suporte a servidor de renderização e carregamento de página sob demanda. Esses recursos ajudam a melhorar o desempenho e a escalabilidade do sistema, tornando-o mais responsivo e eficiente para o usuário final.

1.2 FERRAMENTAS

Para o serviço de computação em nuvem, optou-se pelo uso da Amazon Web Services (AWS), uma das plataformas mais populares e confiáveis do mercado. A AWS oferece um conjunto abrangente de serviços de nuvem, desde computação, armazenamento, bancos de dados, até serviços de análise, inteligência artificial e Internet das Coisas (IoT). Além disso, a possibilidade de usar o *free tier* da AWS para realização dos testes com baixos custos foi uma vantagem adicional que contribuiu para a escolha desse serviço de nuvem.

Para hospedar o backend do sistema, foi utilizado o serviço Elastic Compute Cloud (EC2) da AWS. O EC2 oferece uma plataforma escalável e altamente disponível para a execução de aplicativos em nuvem. Com o EC2, foi possível provisionar facilmente instâncias de servidor virtual para hospedar a aplicação backend, garantindo alta disponibilidade e escalabilidade sob demanda.

Para armazenar os arquivos e imagens utilizados no sistema, escolheu-se o serviço Simple Storage Service (S3) da AWS. O S3 é uma solução de armazenamento altamente escalável e durável que permite o armazenamento e a recuperação de dados de qualquer lugar do mundo. Com o S3, foi possível armazenar de maneira segura e eficiente os arquivos de imagem e outros dados utilizados no sistema.

Para a implementação do algoritmo de otimização proposto por esse trabalho e desenvolvido em Python, foi utilizado o serviço Lambda da AWS. O Lambda é um serviço de computação sem servidor que permite a execução de códigos em resposta a eventos, sem a necessidade de provisionamento de servidores. Com o Lambda, foi possível implementar facilmente o algoritmo desenvolvido em Python, reduzindo significativamente o tempo para geração de ambiente de testes na web, custo e o esforço de gerenciamento de infraestrutura.

2 DESCRIÇÃO DA PLATAFORMA

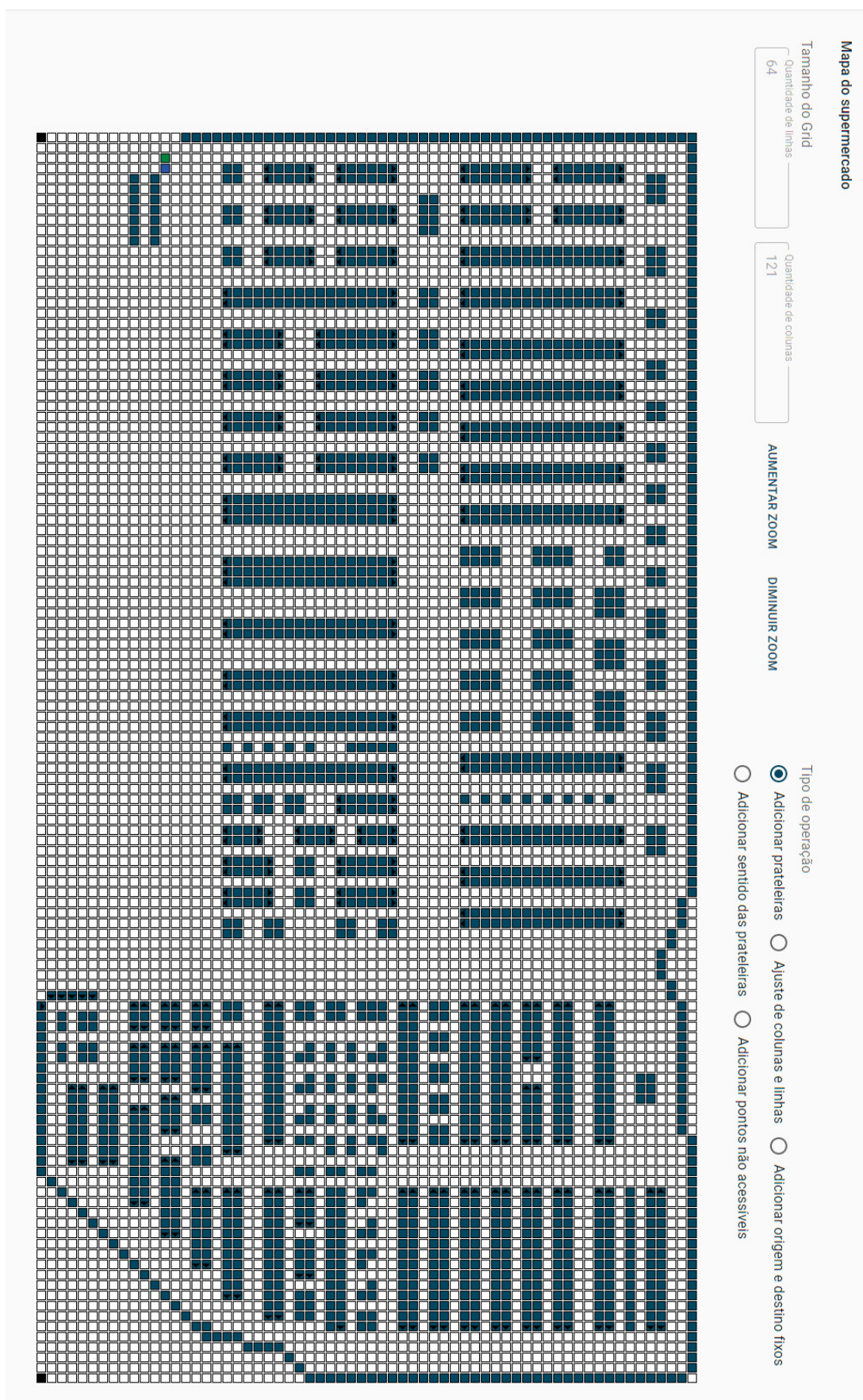
O sistema de controle e roteirização de pedidos para supermercados online foi desenvolvido com o objetivo de otimizar o processo de coleta de pedidos e melhorar a experiência dos colaboradores. Um dos pilares do sistema era a criação de uma interface intuitiva utilizando tecnologias avançadas. O sistema permite a visualização e gestão dos pedidos de forma integrada, facilitando o controle e a roteirização dos pedidos para uma coleta eficiente. Nesta seção, serão apresentados os principais aspectos do funcionamento do sistema, bem como suas telas e funcionalidades.

O primeiro passo para utilizar o sistema é cadastrar a loja com as principais características do seu layout. É importante destacar que uma loja física é projetada com o principal objetivo de gerar vendas físicas, e por isso o posicionamento dos produtos, prateleiras e corredores são estrategicamente planejados para otimizar o fluxo de clientes e maximizar as vendas internas. No entanto, esse planejamento muitas vezes deixa de lado pressupostos importantes de minimização de tempo que outros negócios, como centros de distribuição, possuem.

O mapa da loja dentro do sistema deve ser criado utilizando um grid com linhas e colunas, no qual cada célula representa uma medida específica da loja. Para uma melhor experiência de usuário foram desenvolvidas algumas funcionalidades que auxiliam na criação do mapa. A primeira funcionalidade é a de ajuste de colunas e linhas, ao clicar em algum lugar do mapa o usuário pode escolher se quer adicionar linhas ou colunas para aumentar o tamanho do grid conforme necessidade. Outra funcionalidade importante para o sistema são as prateleiras onde os produtos serão armazenados, para cadastrar esses pontos o usuário deve selecionar a operação no menu superior e depois clicar nas células dentro do grid para criar o mapa conforme planta baixa do estabelecimento. Por fim, é necessário adicionar em qual posição do grid será a origem e destino da operação de coleta de produtos.

O mapa do supermercado, ao ser finalizado, apresenta elementos importantes para a coleta dos pedidos, como a disposição dos corredores, prateleiras, layout, dimensões gerais e obstáculos que devem ser evitados durante a coleta. Esses elementos são fundamentais para o cálculo da otimização do processo de roteamento de coleta, uma vez que permitem a definição da melhor ordem de coleta e minimização da distância total percorrida pelos separadores. A Figura 4 ilustra o layout da loja apresentado na tela quando finalizado.

FIGURA 4 - CRIAÇÃO DO LAYOUT DO SUPERMERCADO

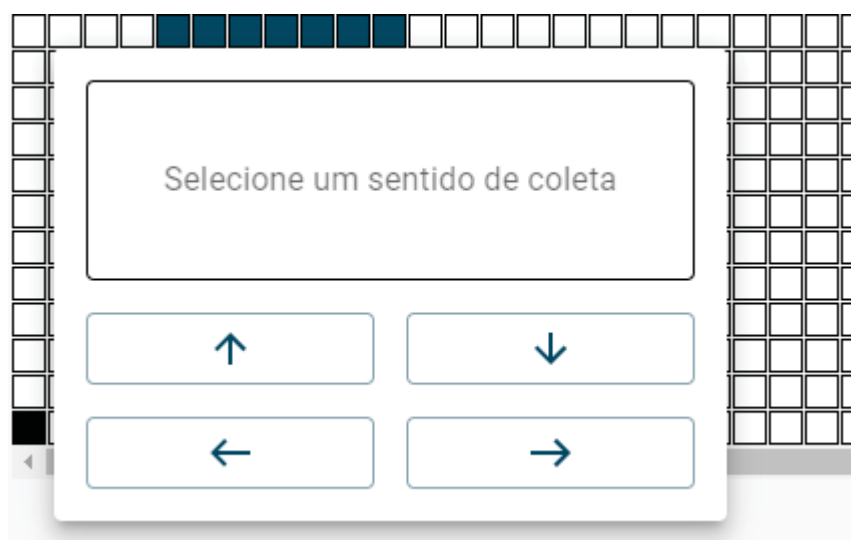


Fonte: Autor (2023)

Vale destacar que o sistema oferece aos separadores uma ferramenta poderosa para a localização dos produtos. Com o cadastro sendo realizado de forma detalhada, os separadores têm acesso a uma visualização clara e precisa do layout da loja, incluindo corredores e elementos físicos semelhantes. Essa funcionalidade é particularmente útil em supermercados com layout irregular, onde a localização dos produtos pode ser um desafio para os separadores. Dessa forma, o sistema ajuda a reduzir o tempo de coleta e minimizar os erros, aumentando a eficiência do processo de coleta de pedidos. Além disso, a ferramenta também pode ser usada para treinamento de novos colaboradores, uma vez que permite uma visão completa do layout da loja e dos produtos oferecidos.

Outra informação importante que deve ser cadastrada nesse momento é referente ao sentido de coleta de algumas prateleiras. Em alguns casos, os itens na prateleira não podem ser coletados em todos os sentidos, isto é, uma prateleira que está no início de um corredor pode ter sentido de coleta pela frente e pelos lados ou somente por um desses lados. Para resolver esse problema no sistema, nesses casos específicos pode ser realizado o cadastro do sentido de coleta da prateleira para ser contabilizada o deslocamento adicional caso seja necessário. O sistema sinaliza com uma seta indicando a direção e é cadastrado conforme figura 5 abaixo:

FIGURA 5 - FUNCIONALIDADE DE SELECIONAR O SENTIDO DA COLETA



Fonte: Autor (2023)

Após a finalização do layout do supermercado, o usuário salva as informações e é iniciada uma função síncrona para o cálculo da matriz de distância. Essa função

tem como parâmetro de entrada o layout irregular e os obstáculos das prateleiras, que são representados por uma matriz de números onde 0 representa corredor e 1 representa obstáculo, indicando que tal ponto não deve ser percorrido.

A matriz de distâncias é inicializada verificando a presença de corredores próximos ao ponto que está sendo analisado. Se existirem, é adicionado o valor 1 na matriz de distâncias, caso contrário, é adicionado um valor muito alto que representa a ausência de conexão entre o ponto e o destino. Em seguida, é realizada a etapa de cálculo da matriz de distância usando o algoritmo de Floyd-Warshall. Esse algoritmo funciona construindo uma matriz de distâncias, na qual cada elemento representa a menor distância entre dois pontos no grafo. O algoritmo utiliza um processo iterativo para construir a matriz de distância, considerando todos os vértices do grafo como possíveis intermediários no caminho entre dois pontos. Esse processo é repetido até que a matriz de distâncias esteja completa, e o resultado é uma matriz que contém as menores distâncias entre todos os pares de vértices no grafo. Isto é, para cada ponto, são calculadas as distâncias para todos os outros pontos, levando em conta a presença ou não de obstáculos e este arquivo fica salvo em formato JSON na memória computacional para ser utilizado posteriormente, pois o cálculo da matriz de distância é um processo essencial para a otimização da roteirização dos coletores no supermercado, sendo utilizado como um dos parâmetros necessários para determinar as rotas mais eficientes para a coleta dos produtos.

Para a continuidade da utilização do sistema, é necessário realizar o cadastro dos colaboradores da loja que farão o uso dele. As informações necessárias para o cadastro incluem dados básicos como nome completo, CPF, endereço de e-mail e telefone. Adicionalmente, é essencial destacar a função do trabalhador dentro do sistema, a fim de que este usuário seja corretamente registrado e apareça na lista de separadores de pedidos, caso essa seja sua função dentro do processo. É importante ressaltar que essa funcionalidade de cadastro de colaboradores visa facilitar a gestão do processo de coleta de pedidos online em supermercados, tornando mais eficiente e precisa a alocação dos separadores às tarefas correspondentes às suas funções e capacidades específicas. O sistema também permite o cadastro e controle de usuários temporários, como funcionários contratados para trabalhos específicos ou prestadores de serviços terceirizados. Esses usuários temporários são cadastrados com uma data de expiração definida, garantindo assim um maior controle e segurança


no processo de coleta de pedido. A figura 6 a seguir apresenta o formulário de cadastro de novos colaboradores.

FIGURA 6 - TELA DE CADASTRO DE COLABORADOR

Cadastrar novo colaborador

DADOS CADASTRAIS ESTATÍSTICAS FINANCEIRO CAPACITAÇÕES DOCUMENTOS

Informações gerais do colaborador

Nome * CPF * 

Email * Matricula *

Sexo * Estado Civil * Regime de bens

Telefone Celular * Telefone Comercial * Telefone Interno * Saudação *

Data de nascimento * Idade 0

Informações trabalhistas

PIS/PASEP * Data de contratação * Data de validade Tempo de empresa

Vale Alimentação Vale Refeição Valor do vale refeição/alimentação * Cargo do colaborador *

R\$

CANCELAR SALVAR

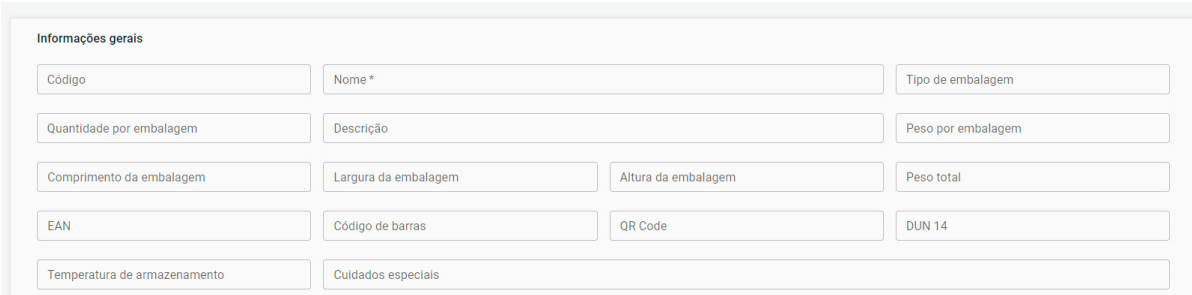
Fonte: Autor (2023)

O sistema desenvolvido possui medidas de segurança para garantir o acesso seguro e controlado dos colaboradores. Após a criação do cadastro, o colaborador recebe um e-mail para finalizar o processo de acesso e criar sua senha, a qual é criptografada e armazenada no banco de dados. Dessa forma, a autenticação do usuário ocorre de maneira segura e impede o acesso não autorizado. É importante destacar que os dados sensíveis do usuário são criptografados para impedir que a senha seja visualizada ou manipulada por terceiros, garantindo a confidencialidade dos dados do usuário e do sistema como um todo.

O cadastro de produtos na plataforma exige a inserção de diversas informações relevantes para a operação e para a roteirização dentro do mercado, vale salientar que o cadastro dessas informações pode ser realizado manualmente na plataforma ou pode ser realizado de forma automatizada, por meio de APIs diretamente do sistema do Supermercado. Os dados necessários para o cadastro são: o código interno da loja, que identifica o produto de forma única dentro do sistema; o nome e a descrição do produto, que permitem uma identificação clara e objetiva na hora da coleta; o tipo de embalagem, que indica a forma como o produto está embalado; a

quantidade por embalagem, que permite um cálculo preciso da quantidade total de produto a ser transportada; o peso por embalagem, que impacta diretamente no cálculo do peso total a ser transportado; as dimensões da embalagem, que auxiliam na definição do espaço físico necessário para o armazenamento e transporte do produto; o peso total, que é calculado a partir do peso por embalagem e quantidade de embalagens; o EAN, código de barras e QR code, que são informações importantes para a identificação e rastreabilidade do produto; a temperatura de armazenamento, que é fundamental para garantir a qualidade do produto; e as informações sobre cuidados especiais, que são relevantes para o manuseio e armazenamento adequado do produto. O fornecimento correto dessas informações, em um primeiro momento, auxilia a operação a tomar melhores decisões e, posteriormente, pode contribuir com informações adicionais para o modelo matemático utilizado na roteirização. É importante que os usuários da plataforma estejam cientes da importância dessas informações e as forneçam com precisão para garantir a eficiência do sistema. A figura 7 abaixo demonstra o formulário de cadastro das respectivas informações:

FIGURA 7 - SEÇÃO DE INFORMAÇÕES DO PRODUTO



O formulário, intitulado "Informações gerais", contém os seguintes campos de entrada:

| | | | |
|------------------------------|----------------------|---------------------|------------|
| Código | Nome * | Tipo de embalagem | |
| Quantidade por embalagem | Descrição | Peso por embalagem | |
| Comprimento da embalagem | Largura da embalagem | Altura da embalagem | Peso total |
| EAN | Código de barras | QR Code | DUN 14 |
| Temperatura de armazenamento | Cuidados especiais | | |

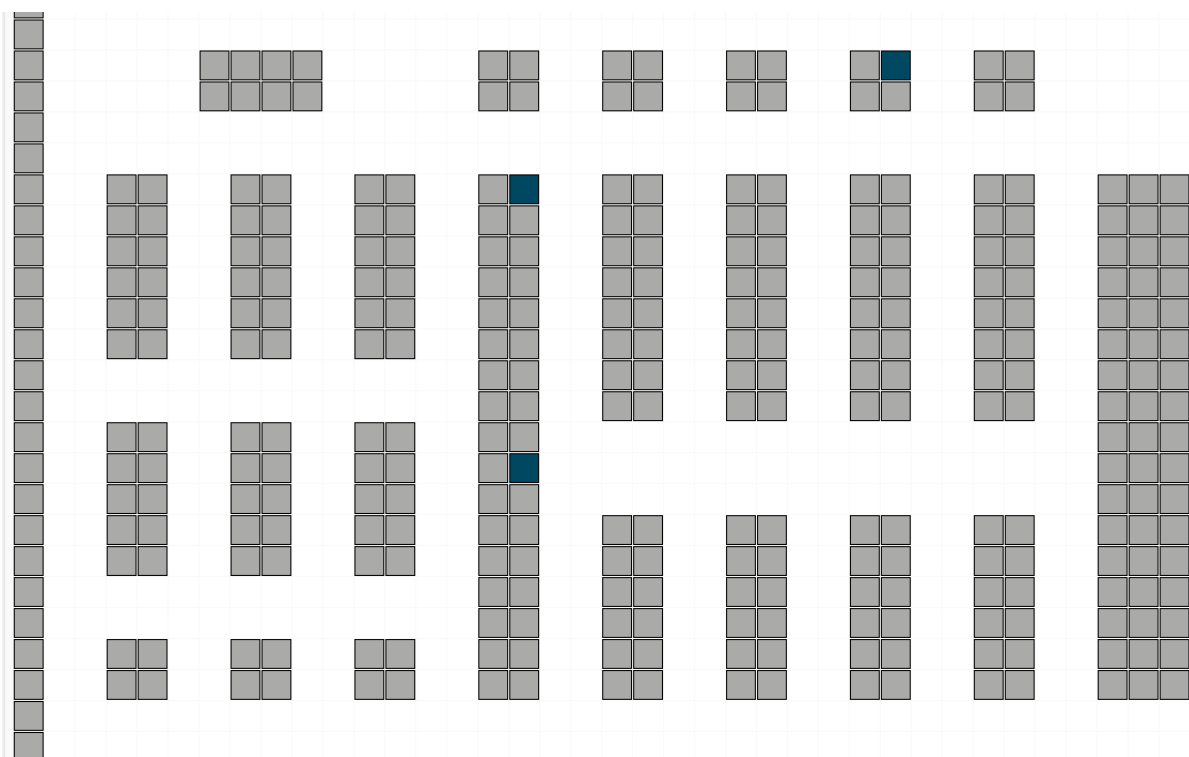
Fonte: Autor (2023)

Para prosseguir com o cadastro do produto na plataforma, o próximo passo é a seleção da localização do produto no mapa da loja. É possível selecionar mais de uma posição, caso o produto esteja disponível em diferentes áreas do armazenamento. Ter várias posições cadastradas para o produto é de extrema importância para a eficiência da roteirização dentro do mercado. Isso porque, ao ter múltiplas posições cadastradas, o modelo matemático utiliza essa informação para determinar rotas mais eficientes de coleta dos produtos.

Por exemplo, suponha que um determinado produto tem 3 posições cadastradas na loja, devido uma ação de marketing realizada pela fabricante.

Utilizando essas informações, o modelo matemático utiliza a distância entre a posição de origem do coletor e cada uma das posições cadastradas do produto e determina qual é a posição mais próxima para coleta naquele momento. Isso resulta em um trajeto mais curto e otimizado, reduzindo o tempo de coleta e, conseqüentemente, aumentando a eficiência do processo. A figura 8, demonstra como é realizado esse cadastro pelo usuário:

FIGURA 8 - FUNCIONALIDADE DE MAPEAMENTO DO PRODUTO



Fonte: Autor (2023)

Com as informações das propriedades e das posições dentro do mapa do supermercado produtos disponíveis, o programa computacional está pronto para a realização do cadastro de produtos. A partir desse momento, as informações serão armazenadas em um banco de dados centralizado, onde poderão ser acessadas e utilizadas tanto para o monitoramento da operação quanto para a otimização da roteirização dos coletores.

A criação dos pedidos na plataforma é realizada por meio de uma API que pode ser acessada tanto pela plataforma do próprio supermercado quanto por *gateways* de plataformas terceiras que são especializadas na comercialização desses produtos de forma online para o consumidor final. Para o cadastro do pedido, são necessárias diversas informações relevantes, tais como: o código interno do pedido, que o

identifica de forma única dentro do sistema; a data de criação do pedido; a janela inicial e final de entrega, que delimitam o período de tempo no qual o pedido será entregue; a indicação se o pedido é para entrega (delivery) ou para ser coletado no mercado; comentários adicionais do cliente, que podem ser utilizados para informar alguma observação especial sobre o pedido; a URL do documento que armazena os dados adicionais de pagamento, do cliente e o endereço de entrega do pedido; e a lista de identificadores únicos dos produtos que constam no pedido.

Após a inserção das informações dos produtos, o sistema inicia um processo assíncrono para retornar a matriz de distância somente dos produtos pertencentes ao pedido consultando a matriz de distância de todos os pontos iniciais. Para isso, é utilizada a função cálculo de distância entre posições que é responsável pelo cálculo da distância entre dois pontos, utilizando os parâmetros de distância de referência, matriz e dimensões do layout do supermercado e a matriz de distâncias do Floyd. Essa função é essencial para a operação do sistema de roteirização, pois fornece uma matriz de distâncias somente dos produtos pertencentes ao pedido. A função recebe dois parâmetros que representam dois pontos distintos da matriz do layout do supermercado. Além disso, ela recebe um parâmetro de distância de referência, que é utilizada para converter a distância em uma unidade de medida comum. A matriz de layout foi criada no cadastro do supermercado e é uma matriz bidimensional que representa o espaço físico do mercado, onde cada posição representa uma célula da matriz, já as dimensões representam o número de linhas e colunas. A matriz de distâncias é uma matriz quadrada gerada a partir da função Floyd explicada anteriormente, armazenando as distâncias entre todas as células da matriz.

A fim de calcular a distância entre os produtos, a função desenvolvida no sistema se utiliza de outras duas funções implementadas no código. A primeira delas é responsável por encontrar a posição exata do produto na matriz inicial, enquanto a segunda é responsável por determinar a adjacência mais próxima do ponto do produto, respeitando a restrição de acessibilidade.

A função que encontra a posição correta na matriz inicial tem como objetivo corrigir a posição de um ponto em uma matriz 2D. Ela recebe três parâmetros: a linha do ponto na matriz (i), a coluna do ponto na matriz (j) e a maior dimensão da matriz (n_2). Em seguida, é aplicado o cálculo $(i * n_2) + j$ para retornar à posição corrigida na matriz total. Essa correção é necessária para que os cálculos de distância entre pontos sejam precisos. Já a função para encontrar a adjacência mais próxima, por sua vez,

tem como objetivo encontrar o ponto mais próximo da posição do produto que pode ser calculado. A função itera sobre os pontos adjacentes ao ponto de referência, verifica se o ponto adjacente é válido para que o coletor percorra e calcula a distância entre esse ponto a um ponto de referência para ver quais dos pontos adjacentes é o ponto mais próximo para o cálculo da distância. Finalmente, retorna o ponto adjacente mais próximo da posição do produto.

A função principal retorna o valor mínimo entre a distância calculada ou o valor máximo definido como constante. A distância calculada é multiplicada pela distância de referência para que o resultado esteja na mesma unidade de medida. Esse processo é realizado para a origem e destino fixos no layout do supermercado e para todas as posições da lista de produtos do pedido, o resultado é uma matriz de custos somente das posições que interessam para o modelo matemático, diminuindo o poder computacional necessário para chegar na resposta desejada.

Após a geração da matriz de distância das posições, o próximo passo no funcionamento do sistema de roteirização é a chamada da função de otimização que foi implementado no ambiente lambda da AWS. Essa função contém o modelo matemático que irá otimizar a rota que foi abordado neste trabalho, utilizando todas as informações coletadas anteriormente.

A implementação do modelo matemático na AWS, utilizando a biblioteca pyomo e a ferramenta lambda, apresenta diversas vantagens em relação aos modelos convencionais em servidores dedicados. A biblioteca pyomo permite a criação de modelos de programação linear e não linear de forma eficiente e flexível, além de oferecer diversas opções de *solvers* para escolha (PYOMO, 2022). Já a função lambda na AWS oferece escalabilidade e flexibilidade na alocação de recursos computacionais, reduzindo significativamente os custos de infraestrutura em comparação com a implementação de um modelo convencional. Além disso, a opção *serverless* permite que o custo seja proporcional à quantidade de recursos utilizados, sem a necessidade de provisionar recursos adicionais para picos de demanda, o que reduz ainda mais os custos operacionais do sistema (AWS, 2022). Para implementar o solver GLPK no ambiente *serverless*, utilizou-se a funcionalidade de camadas do Lambda AWS, que permite adicionar bibliotecas e outros arquivos ao ambiente de execução. No entanto, as camadas possuem limitações de tamanho e podem ser complicadas de gerenciar, especialmente para software complexo como o GLPK. Por isso, foi necessário compilar e compactar o arquivo em um ambiente local antes de

configurá-lo no ambiente Lambda. Depois que o arquivo é adicionado no ambiente, não é necessária qualquer modificação para que a função utilize o solver.

O API Gateway da Amazon é um serviço de gerenciamento de API que permite que os desenvolvedores criem, publiquem, monitorem e protejam APIs para aplicativos da web e móveis. No contexto deste projeto, o API Gateway é utilizado para expor a API de otimização criada no Lambda para uso externo. Quando uma solicitação é feita através do API Gateway, ele encaminha essa solicitação para a função Lambda, que executa o código de otimização e retorna o resultado. A utilização do API Gateway é importante porque ele fornece uma camada de segurança e controle de acesso para a API de otimização, permitindo que apenas usuários autorizados acessem a função Lambda.

Após a execução do modelo matemático no Lambda, a API de roteirização retorna uma resposta contendo diversas informações relevantes para o processo de coleta e entrega de pedidos. Uma dessas informações é o valor objetivo, que representa a medida de desempenho do modelo, ou seja, o resultado da otimização da rota considerando as restrições e a distância. Além disso, a resposta contém o circuito que representa a sequência de coleta dos produtos e as posições a serem visitadas. Essa informação é valiosa para as equipes de coleta, que podem se planejar e seguir a rota de forma mais eficiente e organizada.

A resposta também contém dados do problema, como os limites inferior e superior, o número de variáveis e a quantidade de restrições consideradas pelo modelo e todas as variáveis de decisão utilizadas no modelo, juntamente com seus respectivos valores. Essas informações são relevantes para o entendimento do processo de otimização e permitem que os desenvolvedores e gestores acompanhem e avaliem o desempenho do sistema.

Outra informação importante que é retornada pela API são os possíveis erros que podem ter ocorrido durante a execução do modelo, o que permite aos desenvolvedores identificar e corrigir possíveis problemas. Todas essas informações são salvas no banco de dados e podem ser acessadas posteriormente através de requisições dos usuários ou para fins de análise e melhoria contínua do sistema.

Após o processo de otimização de rotas realizado pela função lambda na AWS, o plano de roteirização é armazenado no banco de dados do sistema. Quando o usuário acessa o pedido pela plataforma, ele tem acesso a todas as informações do pedido, incluindo a rota otimizada, que é uma das informações mais importantes para

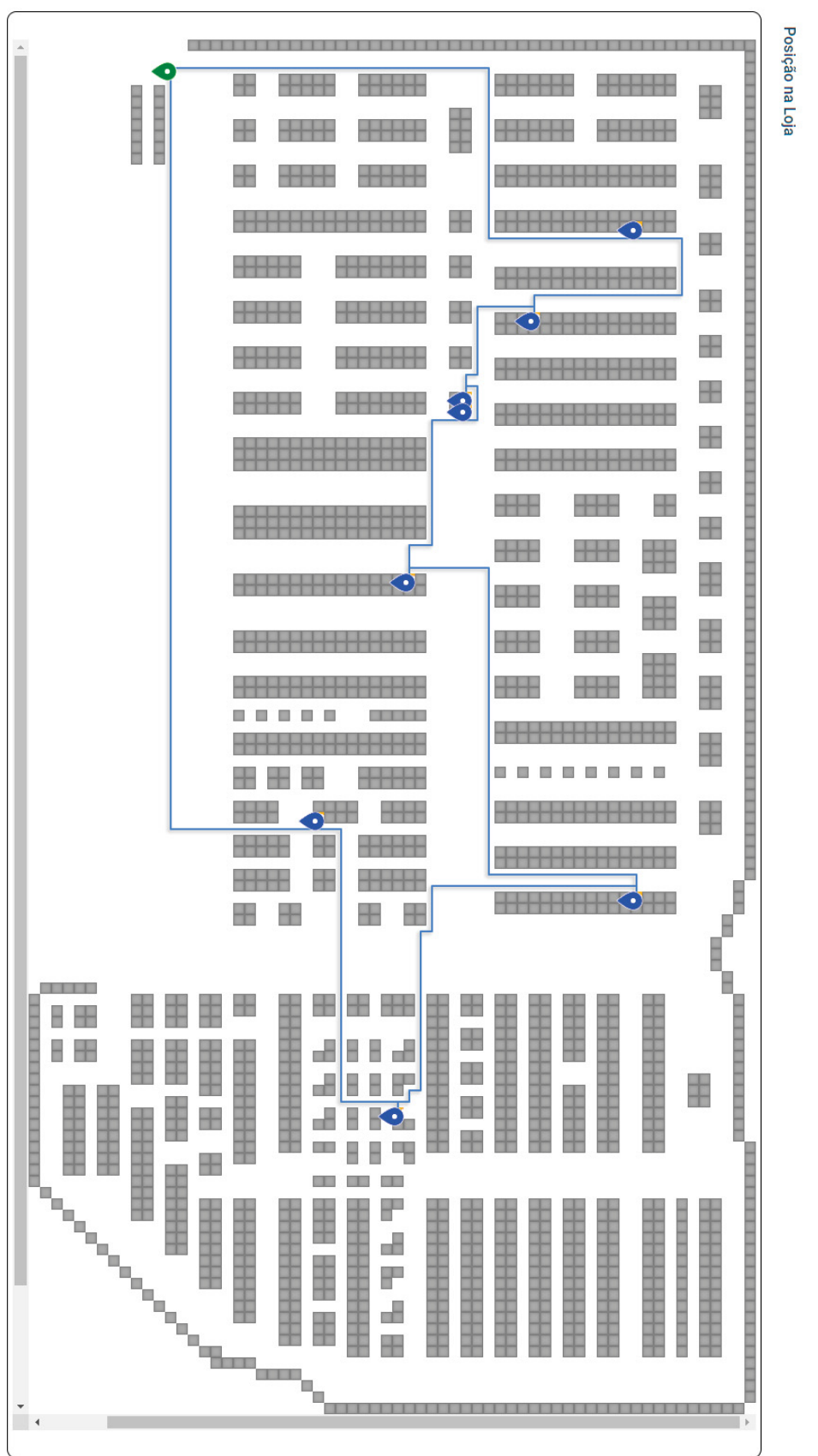
o usuário. Com o objetivo de tornar essa informação clara e fácil de seguir, a plataforma exibe um mapa da loja, que mostra a rota otimizada, respeitando os obstáculos do supermercado, que foi criado previamente durante o cadastro da loja.

Para realizar a plotagem de uma rota no mapa interno do supermercado, inicialmente, é necessário obter as posições da rota a ser exibida, identificando os pontos de origem, pontos de coleta e destino, bem como os pontos que devem ser percorridos para se chegar de um ponto ao outro. Em seguida, é importante carregar o mapa na interface gráfica com resolução suficiente para exibir detalhes da rota com clareza e precisão. Após essa etapa, a rota é desenhada sobreposta ao mapa, utilizando-se elementos gráficos como linhas e pontos. A plataforma web ainda oferece recursos interativos como zoom e *pan* no mapa, além de realçar pontos de interesse e exibir informações adicionais ao clicar em pontos específicos da rota, possibilitando uma melhor visualização da rota e informações relevantes, como tempo estimado de percurso, distância total percorrida e instruções de coleta de itens para o usuário. É importante garantir a qualidade e a usabilidade da interface gráfica para garantir uma experiência satisfatória ao usuário.

O mapa interno do supermercado é uma ferramenta importante para o entendimento das informações relevantes do processo de otimização de *picking*. Ele contém informações relevantes, como a origem e o destino do pedido, a rota otimizada a ser seguida e a posição dos produtos no supermercado, que podem ser úteis tanto para os usuários quanto para a equipe que realiza a designação das atividades para os separadores.

A partir do conhecimento prévio da rota a ser percorrida, é possível selecionar de forma mais eficiente os indivíduos que realizarão as atividades, baseando-se nas informações da plataforma. A utilização do mapa interno na operação de separação de itens do supermercado pode levar a uma redução de tempo e minimização de erros durante o processo, proporcionando uma experiência satisfatória para todos os envolvidos. A Figura 9 apresenta a visualização da rota dentro da plataforma, onde o marcador verde representa a origem e o destino, e o marcador azul representa todos os pontos de coleta.

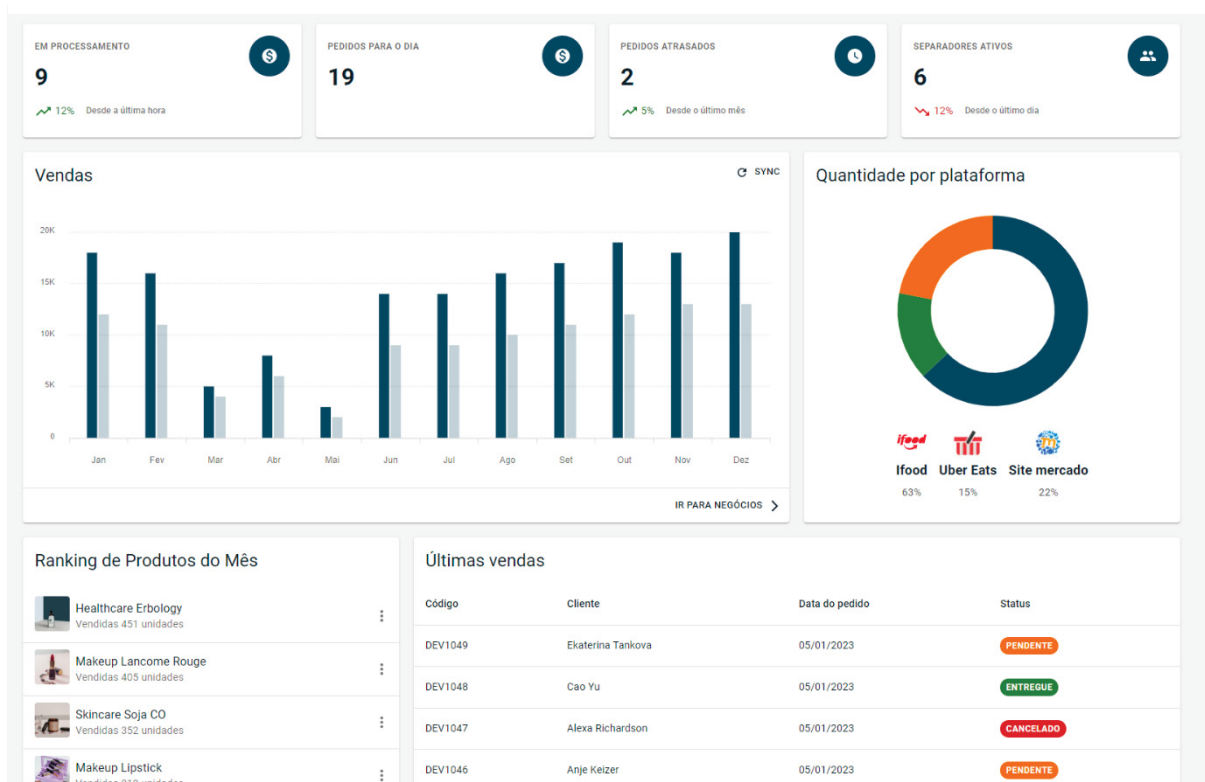
FIGURA 9 - ROTEIRIZAÇÃO DO PEDIDO



Fonte: Autor (2023)

Os indicadores presentes no dashboard da aplicação são essenciais para o gerenciamento eficiente da operação de coleta de pedidos em supermercados. O card de "Pedidos em processamento" permite uma visão em tempo real do volume de pedidos que estão em andamento, auxiliando na tomada de decisão em caso de sobrecarga da equipe de separadores ou eventuais atrasos. Já o card "Pedidos para o dia" traz informações importantes para o planejamento da equipe, possibilitando a estimativa do número de separadores necessários para o atendimento das demandas do dia. O card "Pedidos Atrasados" mostra os pedidos que não foram entregues no prazo estabelecido, possibilitando a identificação de gargalos no processo e a tomada de ações corretivas para a melhoria contínua da operação. Por fim, o card "Separadores ativos" permite o acompanhamento do número de separadores disponíveis para o atendimento da demanda.

FIGURA 10 - INDICADORES DA PLATAFORMA



Fonte: Autor (2023)

Os gráficos presentes no dashboard também são importantes indicadores para a tomada de decisão. O gráfico de barras que compara mensalmente o volume

de pedidos pode auxiliar na identificação de tendências e sazonalidades no volume de pedidos, permitindo um planejamento mais eficiente da equipe e dos recursos necessários para o atendimento da demanda. Já o gráfico donut com a representação das plataformas de *marketplace* permite a identificação da origem dos pedidos e pode auxiliar no planejamento de ações específicas para cada plataforma.

Além disso, o ranking dos produtos que mais saíram no dia pode auxiliar na gestão de estoque e na tomada de decisões sobre promoções e descontos em produtos com maior demanda. E a lista dos últimos pedidos permite o acompanhamento do histórico de pedidos realizados, auxiliando na identificação de possíveis falhas no processo e na melhoria contínua da operação. Portanto, todos os indicadores presentes no dashboard são importantes para a gestão eficiente da operação de coleta de pedidos em supermercados.

O sistema foi planejado de forma a maximizar a produção de relatórios e indicadores relevantes para a gestão do negócio. As telas de listas de informações, como as de produtos, colaboradores e pedidos, também foram desenvolvidas com a inclusão de cards que apresentam informações importantes e relevantes ao contexto. Isto é, qualquer informação que conste no banco de dados pode se tornar um indicador importante se for bem analisada e interpretada. A geração de indicadores e relatórios é essencial para a tomada de decisão assertiva e eficiente na gestão do negócio. A análise constante desses indicadores e relatórios pode ajudar a identificar oportunidades de melhorias e a minimizar problemas na operação.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A solução desenvolvida para a otimização de roteirização de coletores em um supermercado oferece uma série de funcionalidades que permitem aos usuários melhorar a eficiência e a produtividade do processo de gestão de pedidos. Entre as principais funcionalidades do sistema, destacam-se:

- Roteirização otimizada: o sistema utilizou-se do modelo matemático formulado nesse trabalho para gerar rotas otimizadas para os coletores, levando em consideração o layout irregular do supermercado e a localização dos produtos, onde um produto pode estar em mais de um lugar na loja. Isso permite que os coletores realizem as coletas de forma mais eficiente e com menor tempo gasto no percurso.

- Gerenciamento de rotas e coletores: o sistema permite aos usuários gerenciar as rotas e coletores de forma intuitiva e simples, adicionando novos coletores, ajustando produtos no pedido, e acompanhando o desempenho dos coletores ao longo do tempo. Isso permite aos usuários monitorar e ajustar o processo de coleta de forma contínua, buscando sempre aprimorar a eficiência e a produtividade.
- Análise de desempenho: o sistema oferece recursos para a análise de desempenho da operação, permitindo aos usuários identificar gargalos no processo e tomar medidas para corrigi-los. Isso inclui a análise da quantidade de pedidos em um determinado período, distribuição de pedidos entre plataformas, a frequência de coleta de cada item, entre outros.
- Integração com outros sistemas: o sistema foi desenvolvido com recursos para integração com outros sistemas, permitindo a importação de dados de outros sistemas, como sistemas de gerenciamento de estoque ou sistemas de gerenciamento de pedidos. Isso ajuda a melhorar a precisão da otimização e aprimorar a eficiência do processo de coleta.
- Suporte a dispositivos móveis: o sistema é compatível com dispositivos móveis, permitindo que os coletores possam acessar as rotas e informações relevantes diretamente em seus smartphones ou tablets. Isso permite uma maior flexibilidade no processo de coleta, aumentando a eficiência e a produtividade dos coletores.

A solução desenvolvida para a otimização de roteirização de coletores em um supermercado oferece uma série de funcionalidades avançadas e recursos de análise para melhorar a eficiência e a produtividade do processo de coleta, mesmo considerando a limitação de custos. Foi utilizada toda a infraestrutura *free tier* da AWS, possibilitando que empresas com recursos limitados possam adotar a solução sem comprometer seus orçamentos. A integração com outros sistemas, a compatibilidade com dispositivos móveis e o suporte para a análise de desempenho fazem do sistema uma solução completa e eficiente para empresas que buscam otimizar seus processos logísticos sem comprometer suas finanças.