



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA

CENTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM ENERGIA E SUSTENTABILIDADE

BACHARELADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**APLICAÇÃO DO CAMINHO MÍNIMO POR MEIO DO
ALGORITMO DE DIJKSTRA EM UMA
TRANSPORTADORA DE COMBUSTÍVEIS**

MARIA KAROLINE SILVA SOUZA

FEIRA DE SANTANA, 2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA

CENTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM ENERGIA E SUSTENTABILIDADE

BACHARELADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

APLICAÇÃO DO CAMINHO MÍNIMO POR MEIO DO ALGORITMO DE DIJKSTRA EM UMA TRANSPORTADORA DE COMBUSTÍVEIS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Engenharia de Produção do Centro de Ciência e Tecnologia em Energia e Sustentabilidade da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, como requisito parcial à conclusão do curso.

Orientador: Prof. Dr. Bruno Souza Fernandes.

MARIA KAROLINE SILVA SOUZA

FEIRA DE SANTANA, 2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA

CENTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM ENERGIA E SUSTENTABILIDADE

BACHARELADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

APLICAÇÃO DO CAMINHO MÍNIMO POR MEIO DO ALGORITMO DE DIJKSTRA EM UMA TRANSPORTADORA DE COMBUSTÍVEIS

Aprovada em: 02/08/2022

EXAMINADORES:

1. Prof. Dr. Bruno Souza Fernandes.

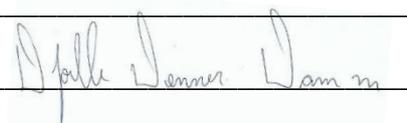
ASS

BRUNO SOUZA FERNANDES
SIAPE: 1323596
DOCENTE DO CETENS - UFPB



2. Prof. Dr. Djoille Denner Damm.

ASS



3. Prof. Me. André de Mendonça Santos.

ASS



MARIA KAROLINE SILVA SOUZA

FEIRA DE SANTANA, 2022



**Ministério da Educação
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Conselho Acadêmico**

Anexo Único da Resolução CONAC Nº 020/2021

ATA DE DEFESA PÚBLICA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos dois dias do mês de agosto do ano de dois mil e vinte e dois, às dezoito horas, em sessão pública realizada remotamente através do Google Meet, no link meet.google.com/vgt-cbju-zpe disponibilizado publicamente, na presença da Banca Avaliadora composta pelos examinadores: 1. [Orientador] prof. Bruno Souza Fernandes; 2. [Membro 01] prof. Djoille Denner Damm; 3. [Membro 02] prof. André de Mendonça Santos. O professor Bruno Souza Fernandes foi o presidente da banca, e a aluna Maria Karoline Silva Souza apresentou o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado APLICAÇÃO DO CAMINHO MÍNIMO POR MEIO DO ALGORITMO DE DIJKSTRA EM UMA TRANSPORTADORA DE COMBUSTÍVEIS escrito na forma de monografia, como requisito curricular indispensável para a integralização do Curso de Bacharelado em Engenharia de Produção. A aluna realizou sua apresentação em 21 min e foi argüida oralmente pelos membros da banca pelo período de 50 min. Após reunião reservada, a Banca Examinadora deliberou e decidiu () APROVAR (X) APROVAR COM CORREÇÕES () REPROVAR o referido trabalho, sendo atribuída as notas 1. 9,3, 2. 8,0 e 3. 7,9, obtendo média final de 8,4, divulgando o resultado formalmente à aluna e aos demais presentes. Eu, na qualidade de Presidente da Banca, lavrei a presente ata, que vai assinada por mim e pelos membros presentes. Feira de Santana, dois de agosto de dois mil e vinte e dois.

Maria Karoline Silva Souza

Assinatura do Discente

Emitido em 02/08/2022

ATA Nº ATA TCC KAROL/2022 - CETENS (11.01.55)
(Nº do Documento: 42)

(Nº do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)

(Assinado digitalmente em 03/08/2022 16:49)

BRUNO SOUZA FERNANDES
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
1323596

(Assinado digitalmente em 04/08/2022 10:07)

ANDRE DE MENDONCA SANTOS
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
1392523

(Assinado digitalmente em 04/08/2022 10:17)

DJOILLE DENNER DAMM
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
3149275

Para verificar a autenticidade deste documento entre em <https://sistemas.ufrb.edu.br/documentos/> informando seu número: **42**, ano: **2022**, tipo: **ATA**, data de emissão: **03/08/2022** e o código de verificação: **9e8b87e235**

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me guiar durante toda trajetória, me agraciar com sua presença e me possibilitar concluir essa etapa. Aos meus pais, Miguel e Marleide por serem minha base, minha motivação em tudo que eu faço, por todo apoio, amor e confiança em mim. Ao meu namorado Mateus por todo apoio, companheirismo, sorrisos e por sempre acreditar em mim. A minha avó, Marivalda, e minha tia Jamill, por todos os conselhos, por não me deixarem desanimar, por encherem meu coração de esperança e alegria. As minhas amigas, companheiras de jornada, Heloísa, Carla, Brenda, Katylla e Bruna por compartilhar dificuldades e vitórias, por toda amizade e ajuda. A meu orientador, Bruno Fernandes, pelo direcionamento durante todo trabalho e por toda confiança depositada em mim. Agradeço a Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), em especial ao Centro de Ciência e Tecnologia em Energia e Sustentabilidade (CETENS), pela oportunidade de estudar e por toda estrutura oferecida. Por fim, agradeço a todos os docentes que de alguma forma contribuíram para minha formação.

A minha avó Marivalda, por
tamanho dedicação e educação.
Tudo em mim tem um pouco da
senhora.

*“Conhecimento não é aquilo que
você sabe, mas o que você faz
com aquilo que você sabe.”*

(ALDOUS HUXLEY)

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA

CENTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM ENERGIA E SUSTENTABILIDADE

BACHARELADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**APLICAÇÃO DO CAMINHO MÍNIMO POR MEIO DO ALGORITMO DE DIJKSTRA
EM UMA TRANSPORTADORA DE COMBUSTÍVEIS.**

RESUMO

A busca por soluções do ramo de transporte que reduzam o consumo de combustível, a emissão de poluentes e o tempo de operação, cresce pelo atual cenário brasileiro de aumento do preço do diesel, preocupação com o meio ambiente e concorrência no setor. A Transportadora em análise está localizada na cidade de Feira de Santana e vem atuando no mercado desde 2018, cujo interesse está nos benefícios da avaliação de rotas. Portanto, o objetivo desse trabalho é analisar e propor novas rotas, no processo de entrega do produto na Transportadora em estudo, a partir da aplicação do algoritmo de Dijkstra, para a determinação do caminho mínimo. A metodologia aplicada seguiu algumas etapas, como coleta de dados a partir do software Bsoft, entrevista com o Gestor para confirmação de dados colhidos e complemento, avaliação da rota atual e uma alternativa de acordo com um método heurístico, utilização do algoritmo de Dijkstra como ferramenta para a análise da sequência de entrega do produto e elaboração de novas rotas. Os resultados apontam que com aplicação do algoritmo de Dijkstra e simulação do caminho mínimo, obteve-se uma nova rota com uma sequência de descarregamento nos 4 postos que reduziu 1 km da distância de cada viagem e resultou em uma poupança de 192 km e R\$ 1025,36 anuais por caminhão, além do benefício de redução de um ponto de parada no roteiro de entrega. Conclui-se que a metodologia proposta é eficiente como uma nova ferramenta de tomada de decisão para a empresa.

Palavras-chave: Transporte de combustíveis, Algoritmo de Dijkstra, Caminho mínimo, Grafos.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA

CENTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM ENERGIA E SUSTENTABILIDADE

BACHARELADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**APLICAÇÃO DO CAMINHO MÍNIMO POR MEIO DO ALGORITMO DE DIJKSTRA
EM UMA TRANSPORTADORA DE COMBUSTÍVEIS**

ABSTRACT

The search for solutions in the transportation industry that reduce fuel consumption, emission of pollutants and operation time grows due to the current Brazilian scenario of increasing diesel prices, concern with the environment and competition in the sector. The Transport Company under analysis is located in the city of Feira de Santana and has been operating in the market since 2018 whose interest in the benefits of route evaluation. Therefore, the objective of this work is to analyze and propose new routes, in the process of product delivery in the Carrier under study, from the application of Dijkstra's algorithm for the determination of the minimum path. The applied methodology followed some steps, such as data collection from the software Bsoft, interview with the Manager for confirmation of the collected data and complement, evaluation of the current route and an alternative according to a heuristic method, use of the Dijkstra algorithm as a tool for analyzing the sequence of product delivery and elaboration of new routes. The results show that with the application of Dijkstra's algorithm and simulation of the minimum path, a new route was obtained with a sequence of unloading in the 4 stations that reduced 1 kilometer of the distance of each trip and resulted in a savings of 192 km and 1025.36 reais per truck per year, besides the benefit of reducing one stop in the delivery route. In conclusion, the proposed methodology proved to be efficient as a new decision making tool for the company.

Key-words: Fuel transport, Dijkstra's algorithm, Minimum path, Graphs.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Exemplo de um grafo linear..... | 15 |
| Figura 2: Pseudocódigo do algoritmo Dijkstra..... | 17 |
| Figura 3: Fluxograma da metodologia seguida no estudo..... | 19 |
| Figura 4: Grafo com pontuações de prioridade no recebimento do produto..... | 22 |
| Figura 5: Rota utilizada pelo <i>Google Maps</i> | 25 |
| Figura 6: Rotas simuladas pelo <i>Google Maps</i> | 26 |
| Figura 7: Grafo atual direcionado do percurso de entrega da transportadora com a quilometragem..... | 28 |
| Figura 8: Novo grafo direcionado do percurso de entrega da transportadora..... | 29 |
| Figura 9: Novo grafo direcionado do percurso de entrega da transportadora com a quilometragem..... | 30 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|----|
| Quadro 1: Entrevista não estruturada..... | 24 |
| Quadro 2: Rotas disponíveis..... | 25 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1: Pesos para avaliação de rotas..... | 21 |
| Tabela 2: Pontuação de acordo com prioridade na entrega do produto..... | 22 |
| Tabela 3: Passos para aplicação do Algoritmo de Dijkstra..... | 23 |
| Tabela 4: Avaliação das rotas usando a heurística por Klugl <i>et al.</i> 2002)..... | 27 |
| Tabela 5: Quilometragem total da Rota 1..... | 29 |
| Tabela 6: Quilometragem total na Rota 3..... | 30 |

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

| | |
|--------|--|
| CONAMA | Conselho Nacional do Meio Ambiente |
| PRONAR | Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar |
| CO | Monóxido de Carbono |
| PO | Pesquisa Operacional |
| BA | Vias Estaduais |
| BR | Vias Federais |
| CT-e | Conhecimento de Transporte |
| NF-e | Nota fiscal |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO..... | 11 |
| 1.1 Contribuições e objetivos..... | 12 |
| 1.2 Organização do texto..... | 13 |
| 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA..... | 13 |
| 2.1 Pesquisa Operacional..... | 13 |
| 2.2 Teoria dos Grafos..... | 14 |
| 2.3 Caminho Mínimo..... | 15 |
| 2.4 Algoritmo de Dijkstra..... | 16 |
| 2.5 Métodos Heurísticos..... | 17 |
| 2.5.1 Aprendizagem de rota por heurística simples..... | 17 |
| 3 METODOLOGIA..... | 18 |
| 3.1 Procedimentos Metodológicos..... | 20 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES..... | 23 |
| 4.1 Resultados: Entrevista com o Gestor..... | 23 |
| 4.2 Resultados: Primeira Avaliação de Rotas..... | 27 |
| 4.3 Resultados: Aplicação do Algoritmo de Dijkstra..... | 27 |
| 4.4 Análise dos dados da entrevista..... | 31 |
| 4.5 Análise da primeira avaliação de rotas..... | 32 |
| 4.6 Análise da aplicação do Algoritmo De Dijkstra..... | 32 |
| 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 33 |
| 5.1 Contribuições..... | 33 |
| 5.3 Conclusões..... | 34 |
| 5.3 Trabalhos futuros..... | 35 |
| REFERÊNCIASBIBLIOGRÁFICAS..... | 36 |
| APÊNDICE..... | 39 |
| APÊNDICE A - GRAFO NO QUAL FOI APLICADO O ALGORITMO DE DIJKSTRA..... | 39 |
| APÊNDICE B - TABELAS REFERENTES À APLICAÇÃO DO ALGORITMO DE DIJKSTRA..... | 40 |
| APÊNDICE C - GRAFO FINAL ENCONTRADO COMO RESULTADO DA APLICAÇÃO DO ALGORITMO DE DIJKSTRA..... | 42 |

1 INTRODUÇÃO

O setor de transporte desenvolve um papel fundamental na sociedade, pela sua responsabilidade em suprir bens de consumo e facilitação da locomoção da comunidade, em torno das suas necessidades. Entretanto, por essa grande dependência do mercado e do corpo social pelo transporte rodoviário, vivencia-se o aumento no tráfego de veículos, que traz estímulos na busca de soluções e reduções nestes processos. A poluição do ar, o consumo de combustíveis fósseis e o longo tempo de viagem dos motoristas são alguns exemplos que se procuram reduzir e controlar neste ramo.

Conforme a Resolução CONAMA nº 5, de 15 de julho de 1989, onde foi criado o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar (PRONAR), com a finalidade de obter o desenvolvimento econômico e social brasileiro de forma ambientalmente segura, a partir da restrição nos níveis de emissão de poluentes, que tem o propósito da preservação da qualidade do ar, de forma a atender os padrões acordados, nota-se a necessidade da preocupação e do investimento em pesquisas para controlar as emissões provenientes do transporte rodoviário, sem afetar sua eficiência.

Assim, observa-se também a inquietude em relação ao grande consumo e dependência dos combustíveis fósseis, como o diesel, já que os caminhões elétricos não são ainda uma realidade na maioria das empresas brasileiras de transporte. Segundo o 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários (2011), o combustível diesel, utilizado em grande parte dos caminhões, foi responsável em 2007 por 10% das emissões de monóxido de carbono (CO), um dos poluentes de maior incidência no ar atmosférico, com estimativa de 17% para o ano de 2020, ou seja, um aumento considerável de 7%, justificado pela ampliação do transporte rodoviário.

Dessa forma, surge a necessidade de aperfeiçoar rotas rodoviárias, como principal alternativa para reduzir o consumo do combustível e das emissões e, conseqüentemente, aprimorar o processo logístico, com a diminuição de tempo de operação e de capital financeiro.

Neste viés, a presente monografia tem como tema a utilização do conceito de caminho mínimo, com o auxílio do algoritmo de Dijkstra, para analisar as rotas e propor o melhor percurso de entrega do produto, quando comparado com fatores

como consumo de combustível e tempo de processo, a partir do estudo de caso em uma Transportadora de combustíveis.

A corporação em análise localiza-se no município de Feira de Santana que, de acordo com o Conselho Regional de Contabilidade da Bahia (2020), é a cidade com maior crescimento industrial do Estado, além de possuir o maior entroncamento rodoviário do norte e nordeste, seccionado por seis rodovias, três são federais e três estaduais, o que torna o acesso a localização muito atrativo para empresas de transportes, pela facilidade de utilizar diversas rotas.

A organização supracitada é considerada de médio porte e conta atualmente com dois veículos bitrens, os quais terão suas rotas e consumos analisados nesta pesquisa. Ao que se refere à clientela, a empresa atende a uma rede de postos de combustíveis, localizada em 5 estados brasileiros e que utiliza toda a sua demanda mensal. Portanto, por trabalhar com o transporte de grandes volumes de líquidos, tem-se um maior consumo de diesel e um tempo mais extenso de processamento, desde o carregamento, transporte e o descarregamento de todo o produto.

1.1 CONTRIBUIÇÕES E OBJETIVOS

Este trabalho traz como contribuição a resolução de alguns questionamentos, como: É possível propor novas rotas que minimizem o consumo de diesel durante o processo de transporte? O método do caminho mínimo com o auxílio do algoritmo de Dijkstra é eficiente para analisar e propor essas rotas?

As seguintes hipóteses foram destacadas para o desenvolvimento deste trabalho: Proposição de novas rotas para a Transportadora. Análise atual por meio do estudo de caso do processo como todo.

Considerando estas hipóteses o objetivo geral desta monografia é analisar e propor novas rotas, no processo de entrega do produto na Transportadora em estudo. Este objetivo é pautado nos seguintes objetivos específicos: 1. Coletar as informações das atuais rotas realizadas pela empresa; 2. Analisar as rotas atuais e as disponíveis que podem ser utilizadas pela Transportadora; 3. Utilizar o algoritmo de Dijkstra como ferramenta para a elaboração de rotas alternativas de entrega do produto; 4. Propor novas rotas.

1.2 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO

Para alcançar os objetivos propostos, este trabalho foi dividido em 5 capítulos, cujo no capítulo 1 introduz o cenário nacional das questões ambientais e de emissão de poluentes do país que a empresa está localizada, questões, hipóteses e os objetivos estabelecidos para esta monografia.

No capítulo 2, apresentam-se os embasamentos teóricos que foram consultados para aplicar na metodologia desta pesquisa.

No capítulo 3, é abordada a metodologia utilizada para a execução da monografia, todas as etapas seguidas de forma ordenada para alcançar os objetivos propostos.

No capítulo 4, são discorridos os resultados obtidos com a metodologia, seguidos com suas respectivas análises com opiniões extraídas de outros autores.

No capítulo 5 são efetuadas as considerações finais, por meio da explanação dos resultados e são propostas soluções concretas para a empresa.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão apresentados e detalhados os conceitos e a base teórica necessária para a elaboração e o desenvolvimento desta monografia, ou seja, o tema pesquisa operacional e os subtemas caminho mínimo com suas ferramentas: algoritmo de Dijkstra e teoria dos grafos, onde foi realizada a aplicação para investigar e resolver o problema proposto ao longo do trabalho, com destaque aos pontos mais importantes e de maior usabilidade para o tema sugerido.

2.1 PESQUISA OPERACIONAL

A atividade chamada pesquisa operacional hoje, surge com ações militares no início da Segunda Guerra Mundial, onde um grupo de cientistas foi convocado para estudar estratégias táticas para Inglaterra, a partir da necessidade de remanejar e otimizar os escassos recursos para as operações. Já no início do ano de 1950, a pesquisa operacional já havia sido inserida em diversos departamentos dos setores comerciais, industriais e governamentais devido ao sucesso das aplicações (HILLIER; LIEBERMAN, 2013).

Conforme Rabenschlag (2005), a Pesquisa Operacional (PO) pode ser conceituada como a utilização de mecanismos científicos para suprir os setores executivos de dados quantitativos, para o auxílio na tomada de decisão em relação às operações controladas, caracterizadas como:

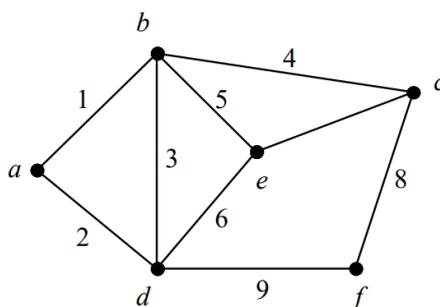
- a) Diretrizes para sistemas: Analisa o sistema como um todo, a fim da solução encontrada ser favorável de forma geral e não benéfica a um setor específico, já que em sistemas organizados, a ação de qualquer fração afeta a todas as demais;
- b) Aplicação de equipes interdisciplinares: A interdisciplinaridade possibilita enxergar e analisar o problema em diversos ângulos, por isso a necessidade das equipes serem montadas e atuarem nesta perspectiva;
- c) Aplicação do método científico e problemas de controle: A utilização da teoria e da observação, de forma a iniciar a investigação para solucionar problemas como os de controle.

Portanto, a pesquisa operacional atua auxiliando principalmente na tomada de decisão, na busca de identificar um problema ou oportunidade e destacar passos a seguir para resolvê-lo ou aproveitá-lo.

2.2 TEORIA DOS GRAFOS

As primeiras análises a respeito dos grafos foram vistas século XVIII na cidade de Königsberg, Prússia, a partir do problema das sete pontes sobre o rio Pregel, que trazia confusão para a população da região por não ser possível atravessá-las unicamente e retornar ao seu ponto inicial. Esta situação incomodou o matemático Leonard Euler, que criou o caminho de Euler, onde deveria haver números de pontes pares para resultar em sucesso e comprovou a impossibilidade da travessia pela teoria das redes (FERGUNSON, 2018). De acordo com Maida (2020), um grafo é uma distração matemática de conflitos reais, constituídos de pontos e linhas. Entretanto, pode ser conceituado de forma mais técnica como uma organização composta por dois conjuntos (V e A), onde V simboliza o conjunto dos vértices e A o conjunto de arestas. Conforme Lisboa (2002), um grafo denominado linear é formado por diferentes nós, onde cada nó conecta-se a um ou mais nós por arcos. Na Figura 1 está representado um grafo linear.

Figura 1: Exemplo de um grafo linear.



Nós: a, b, c, d, e, f Arcos: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9

Fonte: Lisboa (2002).

Entretanto, os grafos ainda podem ser classificados como direto, bipartido e conectado. O grafo direto tem o fluxo ao percorrer do arco em apenas um sentido, já o bipartido é um grafo direto, no qual os nós são separados em dois subconjuntos, que tem todos os arcos do grafo ligados um nó de um subconjunto a um nó do outro e por fim, o grafo conectado que consiste na conexão entre qualquer par de nós. O grafo que melhor representa um problema de transporte é o grafo bipartido, onde se tem todos os arcos ligando nós das origens a nós dos destinos.

2.3 CAMINHO MÍNIMO

Segundo Fu et al. (2006), uma malha de transporte, como viária ou rodoviária, pode ser simbolizada como um grafo, sendo $G = (N, A)$, o qual N é o conjunto de nós e A é o conjunto de arcos que tem como função promover a ligação entre estes nós. Neste sentido, pode-se definir o caminho entre um nó inicial e um nó final como uma sequência de arcos. Assim, o problema do caminho mínimo visa determinar um caminho entre o arco inicial e final que na somatória dos custos unitários de cada arco obtenha o mínimo valor possível.

Conforme Uchoa (2012), o objetivo principal dos problemas que envolvem o caminho mínimo é sempre a busca para alcançar o menor custo possível em um grafo direcionado, além da capacidade de ligar distâncias aos vértices, o que explica a sua grande utilização em problemas de minimização. Para solucionar estes problemas, são utilizados algoritmos baseados em 4 passos genéricos:

Passo 1: Inicialização;

Passo 2: Seleção de nó;

Passo 3: Expansão de nó;

Passo 4: Critério de parada.

De acordo com Netto (2006), os problemas de caminho mínimo podem ser classificados como restritos ou irrestritos de acordo com o uso de arcos e com relação a valores, podendo haver diferenças para cada arco. Em alguns casos, os circuitos podem ser inexistentes e também possuir valores negativos, dificultando o uso de alguns algoritmos. Portanto, o processo de escolha do algoritmo a ser utilizado deve ser minucioso e estudado previamente, de forma que respeite as características e restrições do problema. O algoritmo que será utilizado neste trabalho é o de Dijkstra, que funciona a partir de valores positivos.

2.4 ALGORITMO DE DIJKSTRA

O algoritmo de Dijkstra foi difundido em 1959 por Edsger Dijkstra, um matemático holandês responsável pela sua criação e que observou uma forma de solucionar o problema do caminho mínimo em um grafo ponderado. Este algoritmo possibilita, por meio da avaliação de uma aresta, encontrar uma solução ótima a partir da adição de vértices à árvore de caminho mínimo, ou seja, visa analisar se é possível aprimorar o caminho encontrado. Um requisito importante para este algoritmo é que nenhum peso no grafo seja negativo (Atzingen et al., 2012). Na Figura 2 tem-se representado o pseudocódigo do algoritmo de Dijkstra consoante com Cormen *et al.* (2002).

Conforme a Figura 2, o respectivo algoritmo preserva um conjunto de nós onde os pesos já foram calculados desde sua origem, em seguida, ele seleciona o nó de menor número representado (peso) e calcula os dos nós adjacentes. Por fim, mesmo com a diversidade atual de algoritmos disponíveis, o de Dijkstra é considerado o de maior prodígio no meio computacional, características derivadas do seu criador, que buscava e apoiava uma matemática simples e a utilizava com instrumento para a investigação de fenômenos Cormen et al. (2002).

Figura 2: Pseudocódigo do algoritmo Dijkstra.

```

Algoritmo Dijkstra
Início
  inicialize a distância para todos os nós em G = infinito
  inicialize o predecessor de todos os nós em G = vazio
  enquanto H não estiver vazio faça
    u = o nó com menor rótulo extraído de H
    para cada v adjacente a u:
      se rótulo[v] > rótulo[u] + distância[u, v]:
        rótulo[v] = rótulo[u] + distância[u, v];
        predecessor[v] = u;
    atualiza a posição de v em H
    Fimse
  Fim para
  Fim enquanto
Fim Dijkstra

```

Fonte: Cormen et al. (2002)

2.5 MÉTODOS HEURÍSTICOS

Conforme Schwaab (2007), os algoritmos heurísticos de otimização têm como característica o feito de um alto número de avaliações da função objetivo em toda área de busca, tendo em vista encontrar o ótimo global da função objetivo. Geralmente, estes tipos de método não necessitam de uma estimativa primordial precisa da solução, o que evita dificuldades geralmente encontradas nos métodos tradicionais. Portanto, são indicadas para lidar com problemas que não possuem boas estimativas para os parâmetros.

2.5.1 Aprendizagem de rota por heurística simples

Este método de heurística objetiva simular o comportamento humano em escolhas no que se diz respeito a rotas. Estes modelos visam encontrar os mecanismos que estabelecem a escolha de um motorista por certa rota e os fatores que influenciam nestas decisões. A proposta inicial de aprendizagem de rota por heurística simples foi apresentada em Wahle *et al.* (2000) e foi reimplementada em Klugl (2002), tem como fundamento na teoria que o comportamento humano no tráfego é resultado da busca pela maximização de seus ganhos, entre esses ganhos temos a minimização do tempo de percurso. Dessa forma, subentende-se que os agentes racionais buscam esses objetivos e tendem a antecipar as ações para dominar todos os fatores e os outros participantes. O cenário utilizado é simples e objetivo, onde o motorista deve

escolher entre duas rotas, onde temos uma principal com maior eficiência, ou seja, demanda um menor tempo para percorrer e uma secundária. É importante destacar que quanto mais o motorista utiliza uma determinada rota, mais ele aprende sobre aquela rota. Portanto, este método resume-se em uma escolha realizada pelo motorista onde é avaliada a probabilidade de se escolher a rota principal, ou seja, avalia-se a heurística da aplicação do método.

3 METODOLOGIA

Esta pesquisa, conforme Gerhardt *et al.* (2009) é de natureza considerada exploratória, visando se familiarizar com o problema proposto e construir hipóteses, onde foi optado pelo método do estudo de caso. Já para o desenvolvimento dessa pesquisa, foram realizados levantamentos bibliográficos sobre os temas a seguir: Pesquisa operacional, caminho mínimo, grafos, algoritmo de Dijkstra e o problema de alocação de tráfegos. Este levantamento foi efetuado em livros, teses, monografias e sites da internet. No que se diz a respeito da abordagem, este trabalho se enquadra em qualitativo, pois não se tem a preocupação com representatividade numérica, e sim com o aprofundamento da compreensão de uma organização. Entretanto, quanto à natureza, ele se faz pertencente no campo de pesquisa aplicada, objetivando a geração de conhecimentos para aplicação prática e solução de problemas de acordo com Gerhardt *et al.* (2009).

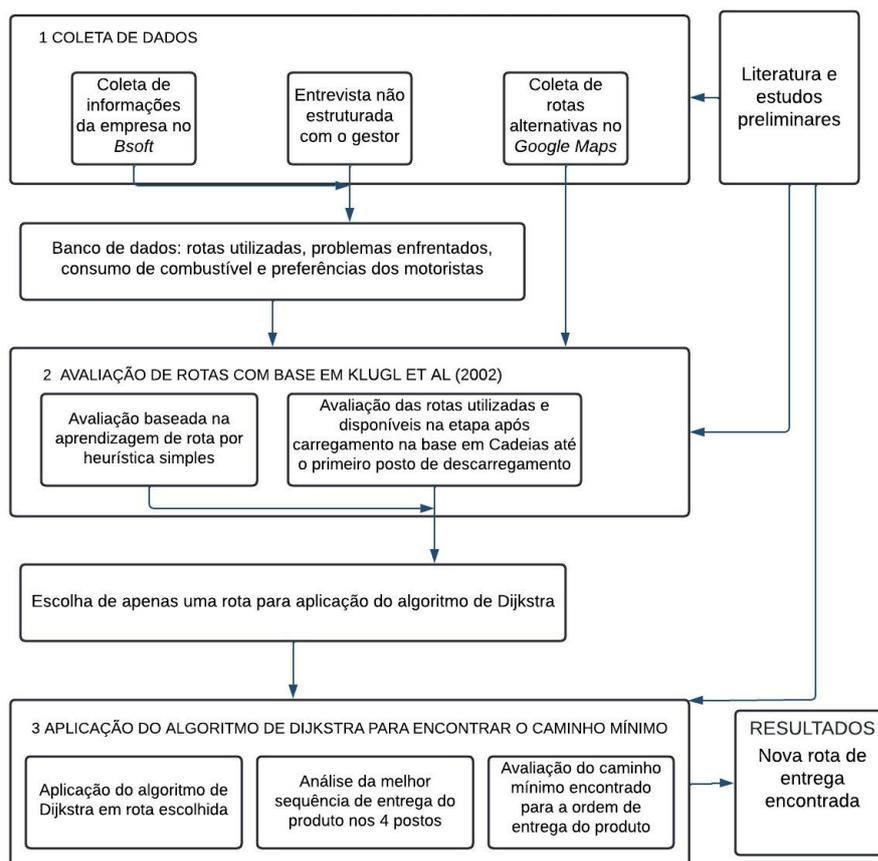
A metodologia empregada neste trabalho foi o estudo de caso, que consoante com Yin (2015) é o método mais adequado quando comparado aos outros em circunstâncias onde estão presentes na pesquisa os questionamentos “como?” ou “por quê?”. Neste tipo de pesquisa, tem-se como centro a investigação de um fenômeno contemporâneo preferivelmente. Assim, o pesquisador não intervém sobre o objeto em questão, mas revela-o da forma que ele percebe.

Após a decisão de seguir com a modalidade de pesquisa do estudo de caso, devem-se considerar três pontos importantes: A coordenação com maior exigência do estudo, concernir como atingir os objetivos e conclusões e compreender o benefício comparativo da pesquisa (YIN, 2015).

Nessa percepção, o ponto primordial do estudo de caso foi o recolhimento dos dados necessários para sua construção. Consoante com Oslen (2015), esta coleta de dados pode derivar da proposta do projeto ou por meio de um conjunto mais amplo de atividades. No caso deste estudo, essa função foi realizada a partir da extração de dados e informações utilizados e gerados pelo software contratado pela transportadora, denominado Bsoft, com funções para gestão de frotas e que possui um custo de manutenção conforme a quantidade de veículos controlados. Além disso, foram extraídas informações a partir de uma entrevista realizada com o Gestor da Empresa, que tem total responsabilidade em escolher rotas, pontos de abastecimento e negociar valores de fretes com o cliente.

Com base em Braun (2019), os levantamentos de dados qualitativos podem ter a finalidade de responder questionamentos de pesquisa amplos e específicos, além de possibilitar a geração de dados que permitem responder mais de um tipo de pergunta. Com isso, os questionamentos foram criados com o intuito de extrair o máximo de dados de valor para este trabalho. Assim, para o andamento deste estudo, a Figura 3 mostra o procedimento seguido.

Figura 3: Fluxograma da metodologia seguida no estudo



Fonte: Autora (2022).

Portanto, foram seguidos estes procedimentos e ao final levantados pontos de melhoria para a empresa.

3.1 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para elaboração deste trabalho, foi estabelecida a análise de uma rota utilizada e uma opcional inicialmente, realizada por dois caminhões com características idênticas da marca Volvo FH 460 tração 6x4, com carroceria bitrem e tanque de aço. Para execução da primeira atividade, realizou-se a entrevista com o Gestor da empresa. Segundo Alves (2013), a entrevista não estruturada favorece a coleta de dados, já que existe liberdade nas perguntas e respostas por não existir um roteiro, promovendo também flexibilidade para o entrevistador, por possibilitar o aproveitamento das falas do entrevistado. Portanto, foi realizada a forma de entrevista não estruturada, a partir dos seguintes questionamentos:

- a. Quais as rotas atuais em uso para execução do serviço?
- b. Quais os problemas enfrentados durante o percurso relacionado às rotas?
- c. Qual o gasto de combustível para a prestação do serviço?

Assim, todas as informações referentes às rotas, tempo de serviço e demanda financeira foram recolhidas e a rota atual da empresa foi simulada no aplicativo *Google Maps* para estudar a existência de outra rota concorrente. Portanto, o trabalho teve seguimento com a primeira avaliação das rotas, com a finalidade de extrair apenas uma para ser avaliada pelo algoritmo de Dijkstra, de modo a possibilitar um estudo mais específico na ordem de entrega do produto, encontrar o caminho mínimo, confirmar se a ordem escolhida pela empresa realmente é a melhor para o serviço e caso seja, estudar melhorias. Essa avaliação é baseada na aprendizagem de rota por heurística simples, uma proposta reimplementada por Klugl *et al.* (2002) e adaptada neste trabalho para a aplicação. Essa adaptação foi realizada para atender os quesitos da racionalidade na escolha da rota, estabelecidos pelo gestor, com a preferência heurística adotada pela Rota 1. Portanto, não existiu escolha direta de rota pelos motoristas. Existiu também adaptação na forma de avaliação, onde estabeleceu um quadro ponderado para enaltecer a rota que tem o melhor resultado com base nos quesitos fixados pelo gestor. Este estudo foi escolhido por analisar pontos na rota que são importantes para a empresa, enaltecidos pelo gestor na entrevista. Com este embasamento

de que todo comportamento humano em um tráfego busca a maximização dos ganhos e minimização do tempo de percurso, buscou-se simular essas ações e determinar a escolha de um motorista por determinada rota. Para isso, os pontos que foram analisados nas rotas são: tempo de viagem na rota, velocidade média durante o percurso e gasto de combustível.

É válido ressaltar que os resultados obtidos por Klugl et al (2002), o dado considerado mais relevante foi o de Tempo de viagem, já o que trouxe menores benefícios na avaliação do percurso foi o de Velocidade média, o Gasto de combustível terá um peso mediano já que interfere no lucro total do serviço e que é considerado um ponto importante para o Gestor da transportadora. Dessa forma, a avaliação neste estudo se deu a partir de pesos com base em Klugl et al (2002), para avaliar de forma numérica as rotas e as propostas. A seguir temos na Tabela 1, que foi utilizada na análise.

Tabela 1: Pesos para avaliação de rotas.

| Avaliação Heurística | | | |
|-----------------------------|--------------|---------------|---------------|
| Pontos avaliados | Pesos | Rota 1 | Rota 2 |
| Tempo de viagem | 5 | | |
| Velocidade média | 1 | | |
| Gasto de combustível | 3 | | |
| Resultado | --- | | |

Fonte: Autora (2022).

Portanto, os valores extraídos a partir das duas rotas analisadas foram multiplicados pelos pesos para termos uma soma total, onde a menor pontuação é considerada a rota mais coerente com o que a empresa busca e com a escolha esperada dos motoristas. Após essa análise, a rota que teve o melhor resultado, ou seja, a menor pontuação foi verificada a partir do algoritmo de Dijkstra.

Para a análise da rota escolhida a partir do algoritmo de Dijkstra, foi utilizado o site *Graph Online*, plataforma de criação de grafos, com variedade de algoritmos, que possibilita a aplicação. Inicialmente foi definida a rota e as relações de precedência. Em seguida, as relações de precedência entre as atividades de descarregamento foram representadas em uma rede. Por fim, foram realizados os cálculos necessários para o desenvolvimento da programação temporal. Para essa execução, foi necessário estudar junto ao gestor da empresa quais os postos que geralmente necessitam de prioridade na entrega do produto, evitando a falta do combustível e sua venda através do cliente, até montar uma ordem de entrega

satisfatória para o processo em estudo. Com o auxílio do gestor, uma tabela foi montada para o estabelecimento de pontuações de acordo com a prioridade de cada posto a receber o combustível. A Tabela 2 mostra como a pontuação será utilizada no algoritmo.

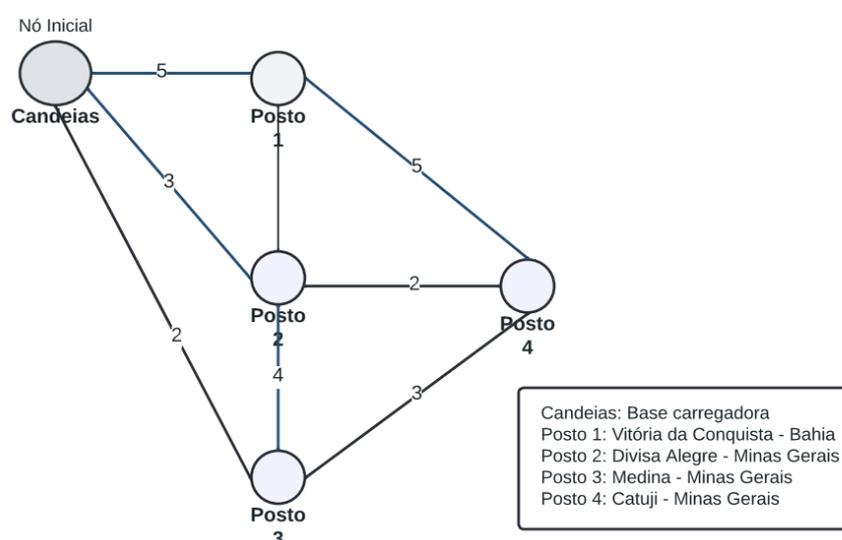
Tabela 2: Pontuação de acordo com prioridade na entrega do produto

| Percurso | Pontuação |
|--------------------|-----------|
| Candeias – Posto 1 | 5 |
| Candeias – Posto 2 | 3 |
| Candeias – Posto 3 | 2 |
| Posto 2 – Posto 1 | 1 |
| Posto 2 – Posto 3 | 4 |
| Posto 2 – Posto 4 | 2 |
| Posto 3 – Posto 2 | 4 |
| Posto 3 – Posto 4 | 3 |
| Posto 4 – Posto 1 | 5 |
| Posto 4 – Posto 2 | 2 |

Fonte: Autora (2022).

Para obter um resultado satisfatório com a aplicação do algoritmo, foi estabelecido que quanto menor a pontuação, maior a necessidade do posto pelo combustível. Após a montagem da Tabela 2, foi construído um grafo onde os nós são os postos que aguardam a entrega do produto e os arcos as pontuações de prioridade. Na Figura 4 temos o grafo com as pontuações.

Figura 4: Grafo com pontuações de prioridade no recebimento do produto.



Fonte: Autora (2022).

A partir do grafo, seguiu-se para a aplicação do algoritmo, que foi realizada com

os passos descritos na Tabela 3:

Tabela 3: Passos para aplicação do Algoritmo de Dijkstra.

| Índice | Algoritmo de Dijkstra |
|--------|---|
| | <i>Seja $G(V,A)$ um grafo orientado e s um vértice de G:</i> |
| 1 | Atribuir valor zero à estimativa do custo mínimo do vértice “s” (a raiz da busca) e infinito às demais estimativas; |
| 2 | Atribuir um valor qualquer aos precedentes (o precedente de um vértice “t” é o vértice que precede “t” no caminho de custo mínimo de “s” para “t”); |
| 3 | Ao passo que houver vértice aberto: – seja “k” um vértice ainda aberto cuja estimativa seja a menor dentre todos os vértices abertos; – fechar o vértice “k”– Para todo vértice “j” ainda aberto que seja sucessor de k realizar: |
| 4 | Somar à estimativa do vértice “k” com o custo do arco que une “k” a “j”; |
| 5 | Caso esta soma seja melhor que a estimativa anterior para o vértice “j”, substituir e anotar k como precedente de “j”. |

Fonte: Medeiros e Silva (2010).

Esta aplicação será apresentada de forma detalhada no Apêndice deste trabalho, com todos os passos ilustrados em tabelas.

Assim, a rota de entrega proposta no trabalho foi comparada com a utilizada pela Empresa e discutida a partir dos dados de *Klugl et al.* (2002) e de outros autores importantes.

Para concluir, estes foram os recursos metodológicos aplicados para a elaboração desta monografia, com intuito de colher dados, identificar rotas atuais e propor novas no estudo de caso, com uma análise de acordo com a literatura e com o que é importante para a empresa, a fim de obter benefícios concretos para a atividade em questão.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão discutidas as rotas disponíveis e a utilizada pela Empresa, às informações providas da entrevista com o gestor, as análises das rotas e os resultados obtidos por meio da aplicação do algoritmo de Dijkstra.

4.1 RESULTADOS: ENTREVISTA COM O GESTOR

O passo inicial em destaque nos procedimentos metodológicos foi à entrevista não estruturada com o gestor, a qual teve total aproveitamento por conseguir respostas para todos os questionamentos anteriormente estabelecidos. O Quadro

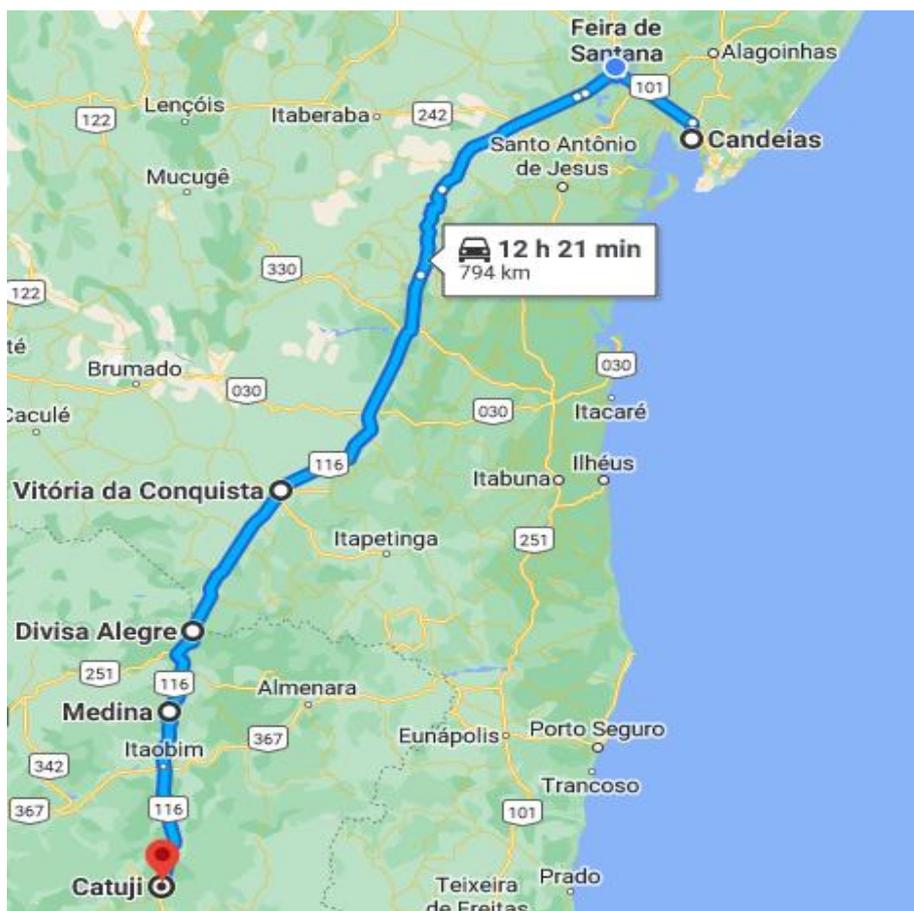
1 mostra todos os questionamentos e respostas obtidas após a entrevista não estruturada.

Quadro 1: Entrevista não estruturada

| Questionamentos | Respostas |
|---|---|
| Quais as rotas atuais em uso para execução do serviço? | Rota 1: Candeias para Catuji, com paradas em Vitória da Conquista, Divisa Alegre e Medina respectivamente. Percurso realizado pela BA-523, BR-324 e BR-116. |
| Quais os problemas enfrentados durante o percurso relacionado às rotas? | Grande quantidade de radares de fiscalização da velocidade; Grande quantidade de pedágios; Imprevistos nas vias como acidentes e lacunas. |
| Qual o gasto de combustível para a prestação do serviço? | O consumo do caminhão é de 1,41 quilômetros por litro. |

Fonte: Autora (2022).

Além dessas informações, foi destacado também que o carregamento é realizado na cidade de Candeias, na base carregadora da Petrobrás, onde o pedido inserido pelo cliente engloba volume de produto para todos os postos de cada cidade da rota, podendo existir alterações com base na necessidade dos postos. Inclusive, a alteração pode ocorrer na ordem de entrega do produto, sendo analisada a partir do suprimento do volume de cada posto. O descarregamento considerado ideal pela Empresa é inicializado no primeiro posto, localizado na cidade de Vitória da Conquista, seguindo para as outras cidades, a fim de continuar a realização dos outros descarregamentos, este percurso será nominado de Rota 1 nesta monografia. Portanto, após a confecção do Quadro 1, foi realizada a análise dos dados e foi simulada a rota pelo aplicativo *Google Maps*, a fim de colher novas informações, a possibilidade de novas rotas e visualizar de forma ampla o percurso. Assim, a Figura 5 mostra a imagem analisada da rota a partir do *Google Maps*.

Figura 5: Rota utilizada pelo *Google Maps*.

Fonte: *Google Maps* (2022).

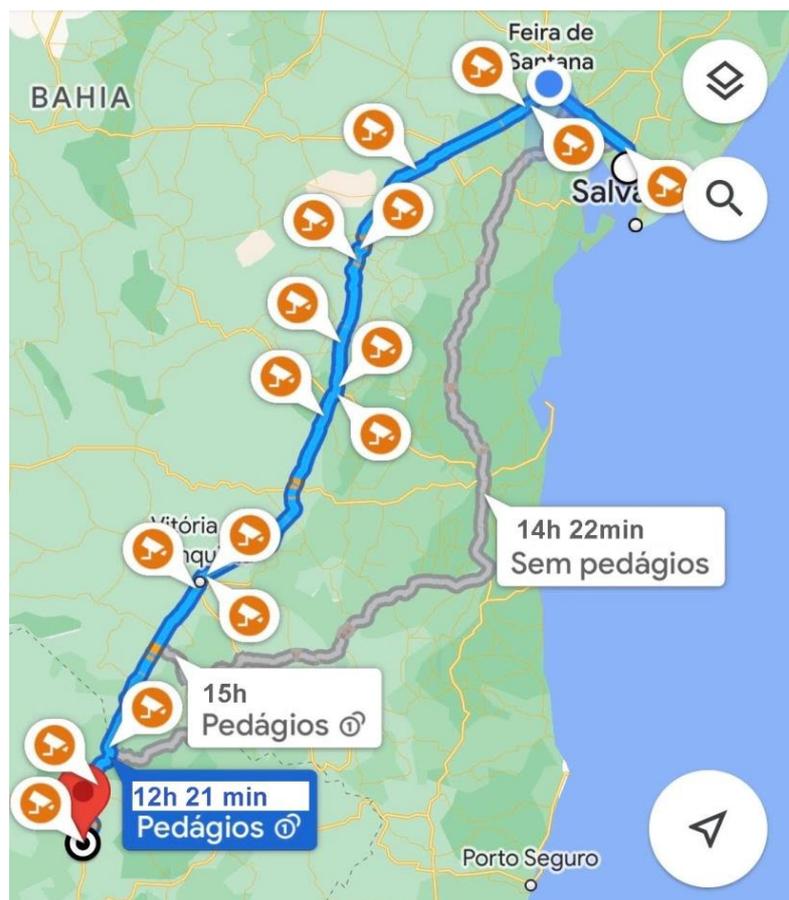
Com essa análise, foi possível verificar a existência de duas rotas destaques para os destinos colhidos na entrevista, descritas no próximo quadro.

Quadro 2: Rotas disponíveis

| | |
|---------------|---|
| Rota 1 | Percurso realizado pela BA-523, BR-324 e BR-116. Ordem de entrega do produto: Vitória da Conquista, Divisa Alegre, Medina e Catuji. |
| Rota 2 | Percurso realizado pela BA-523, BR-420, BR-101, BA-120, BA-650, BA-558, BR-030 e BR-116. Ordem de entrega do produto: Vitória da Conquista, Divisa Alegre, Medina e Catuji |

Fonte: Autora (2022).

Foi possível também simular as duas rotas pelo aplicativo *Google Maps* onde, a rota em azul é rotineira da empresa, nominada Rota 1 e a em cinza sem pedágios será analisada no próximo passo e chamada de Rota 2. Uma terceira rota com duração de 15 horas também foi encontrada pelo aplicativo, porém foi descartada por ter o maior tempo de percurso e ainda contar com pedágios. Portanto, a Figura 6 mostra a imagem da Rota 1 e Rota 2 simuladas pelo aplicativo.

Figura 6: Rotas simuladas pelo *Google Maps*.

Fonte: *Google Maps* (2022).

A Rota 1, em azul, é a escolhida pela empresa e utilizada em todas as prestações do serviço, ela conta com 3 pedágios, totalizando uma estimativa de 12 horas e 21 minutos de percurso pelo aplicativo *Google Maps* e 794 km de distância, além de utilizar como ordem de entrega do produto inicialmente em Vitória da Conquista, Divisa Alegre, Medina e Catuji respectivamente. Já a rota 2, em cinza, é uma alternativa encontrada para a empresa, que não possui pedágio, totalizando uma estimativa de 14 horas e 22 minutos de percurso pelo aplicativo *Google Maps* e 914 km de distância. A ordem de entrega estimada será a mesma da Rota 1. É válido destacar que a mensuração do tempo de viagem feita pelo *Google Maps* é para carros pequenos, porém como as viagens são feitas em horários de trânsito tranquilo, os motoristas conseguem manter-se em uma média de 100 km/h de velocidade, aproximando-se do tempo de viagem de automóveis leves.

4.2 RESULTADOS: PRIMEIRA AVALIAÇÃO DE ROTAS

Após a entrevista e recolhimento de dados, foi dado seguimento após a primeira avaliação das rotas e com base na aprendizagem do método por heurística simples, uma proposta reimplementada por Klugl *et al.* (2002) e adaptada neste trabalho para a aplicação. Continuamente, temos a Tabela 4 com a aplicação da metodologia de avaliação, onde o Tempo de viagem foi estimado através da simulação do *Google Maps*, a Velocidade média é a estabelecida pela empresa visando segurança do motorista, preservação do caminhão e agilidade na entrega do produto e o Gasto de combustível, onde foi feito o cálculo da quilometragem total da rota, dividida pelo valor do consumo (1,41 km/l), mediante o modelo de caminhão utilizado. É válido ressaltar que os pontos avaliados que foram extraídos da entrevista, levam em consideração o que seria preferível pelos motoristas a partir do conhecimento e proximidade com o gestor da empresa, como menor tempo de viagem, maior velocidade média e menor gasto de combustível, baseados nas teses dos modelos heurísticos, já que são os funcionários que vivenciam as rotas em questão. A Tabela 4 mostra uma avaliação das rotas encontradas usando a heurística simples de Klugl *et al.* (2002).

Tabela 4: Avaliação das rotas usando a heurística por Klugl *et al.* (2002)

| Avaliação heurística | | | |
|-----------------------------|--------------|----------------|---------------|
| Pontos avaliados | Pesos | Rota 1 | Rota 2 |
| Tempo de viagem | 5 | 12,35 horas | 14,36 horas |
| Velocidade média | 1 | 100 km/h | 100 km/h |
| Gasto de combustível | 3 | 563 litros | 648 litros |
| Resultado | --- | 1850,75 pontos | 2115,8 pontos |

Fonte: Autora (2022).

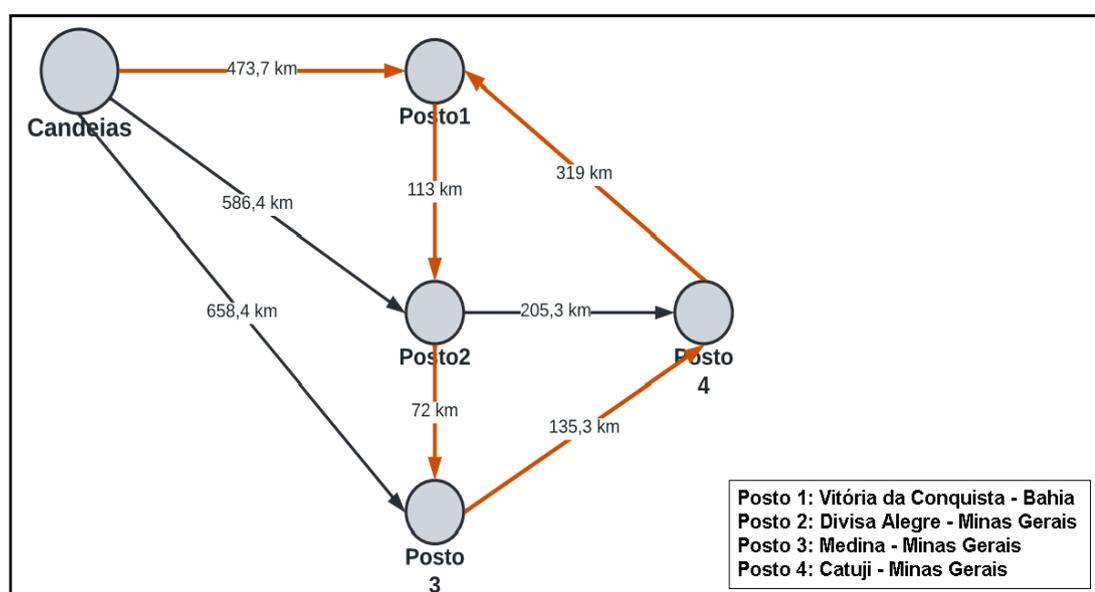
O gasto de combustível indicado na Tabela 2 não levou em consideração a volta do caminhão para a cidade de Vitória da Conquista. Após o preenchimento da Tabela 2, os valores obtidos foram multiplicados pelos pesos e somados. Assim, para Rota 1 obtivemos um total de 1850,75 pontos e para Rota 2 obtivemos 2115,8 pontos. Portanto, a Rota 1 obteve a menor pontuação, logo o melhor resultado e será analisada a partir da aplicação do algoritmo de Dijkstra a seguir.

4.3 RESULTADOS: APLICAÇÃO DO ALGORITMO DE DIJKSTRA

A Rota 1 foi escolhida a partir da avaliação anterior para ter o seu percurso de ordem de entrega do produto analisado por meio da aplicação do algoritmo de

Dijkstra. Inicialmente, a ordem utilizada pela empresa inicia com o carregamento do produto na cidade de Candeias, segue para o primeiro posto, na cidade de Vitória da Conquista, onde realiza o primeiro descarregamento, posteriormente o motorista segue viagem para Divisa Alegre, Medina e Catuji respectivamente. Após finalizar o descarregamento na cidade de Catuji, último posto a receber o produto, o motorista retorna para Vitória da Conquista, cidade residente e onde recebe folga do serviço. A Figura 7 mostra o grafo direcionado do percurso de entrega da transportadora.

Figura 7: Grafo atual direcionado do percurso de entrega da transportadora com a quilometragem



Fonte: Autora (2022).

No grafo direcionado acima, os arcos em vermelho indicam o percurso atual de entrega realizado pela empresa, finalizado no posto 4 e retornado para o posto 1, onde o caminhão fica armazenado no pátio do próprio posto. O tempo total estimado de percurso, adicionando o retorno para Vitória da Conquista é de 17 horas e 10 minutos, onde o tempo máximo estimado de descarregamento em cada posto é de 2 horas, totalizando 25 horas e 10 minutos de processo.

A Tabela 5 mostra o método para obtenção do caminho mínimo entre os postos onde são feitos os descarregamentos, sendo considerado Candeias como o vértice de origem e o posto 1 como vértice final, as distância e relações de precedência.

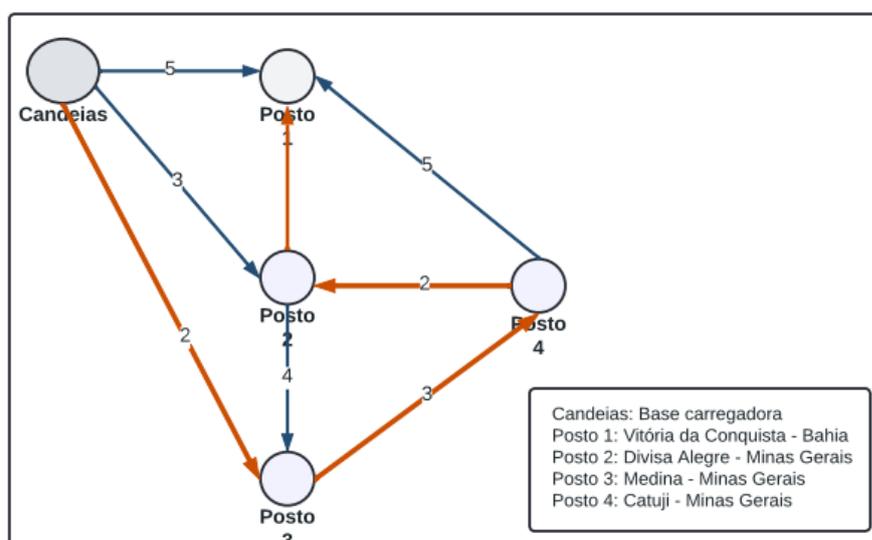
Tabela 5: Quilometragem total da Rota 1

| Algoritmo de Dijkstra | | | | | | |
|-----------------------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|
| | Candeias | Posto 1 | Posto 2 | Posto 3 | Posto 4 | Posto 1 |
| DISTÂNCIA | ----- | 437,7 km | 586,7 km | 658,7 km | 794 km | 1113 km |
| ANTERIOR | 0 | Candeias | Posto 1 | Posto 2 | Posto 3 | Posto 4 |

Fonte: Autora (2022).

Assim, todos esses dados foram passados para o site *Graph Online*, junto a tabela de prioridade estabelecida com o Gestor, para simular e encontrar o Caminho Mínimo do percurso e a melhor ordem de entrega do combustível. Na Figura 8, temos o grafo admitido a partir da ordem de prioridade de entrega estabelecida como resultado da aplicação do algoritmo de Dijkstra.

Figura 8: Novo grafo direcionado do percurso de entrega da transportadora

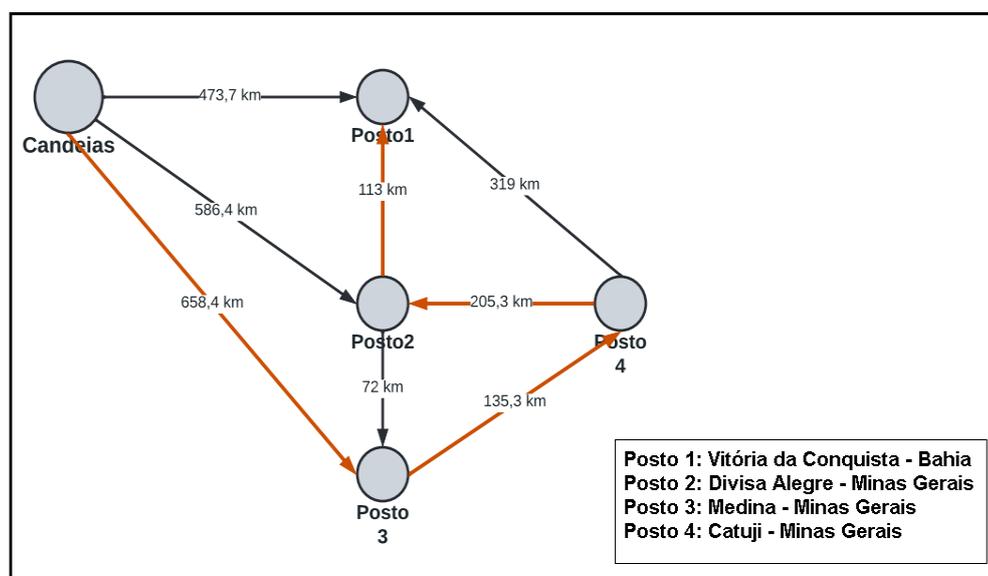


Fonte: Autora (2022).

Todas as tabelas referentes à aplicação do algoritmo para encontrar este resultado foram inclusas no Apêndice deste trabalho. No grafo direcionado acima, temos em vermelho os arcos que mostram o trajeto de entrega ideal, onde o vértice de início se mantém em Candeias, o posto 3 será o primeiro a receber o combustível, logo em seguida o posto 4, posto 2 e posto 1 respectivamente.

Dessa forma, após encontrar a melhor ordem de entrega do produto com base na prioridade do cliente, as pontuações do grafo acima foram substituídas pela distância em quilômetros entre cada nó do grafo, para posteriormente ser analisada a quilometragem total e admitido um novo caminho com redução da distância e conseqüentemente do tempo total de processo. A Figura 9 mostra o novo grafo direcionado com as respectivas quilometragens entre os postos.

Figura 9: Novo grafo direcionado do percurso de entrega da transportadora com a quilometragem



Fonte: Autora (2022).

No grafo direcionado acima, temos em vermelho os arcos que indicam o novo trajeto de entrega. O tempo total estimado de percurso, adicionando o retorno para Vitória da Conquista é de 17 horas e 9 minutos, onde o tempo máximo estimado de descarregamento em cada posto é de 2 horas, totalizando 25 horas e 9 minutos de processo.

Logo após, temos a Tabela 6 representativa após a aplicação do algoritmo de Dijkstra na nova rota de entrega proposta, no qual foi calculado o caminho mínimo entre os postos onde são feitos os descarregamentos, sendo considerado Candeias como o vértice de origem e o posto 1 como vértice final, as distâncias e relações de precedência.

Tabela 6: Quilometragem total na Rota 3

| Algoritmo de Dijkstra | | | | | |
|-----------------------|----------|----------|----------|---------|---------|
| | Candeias | Posto 3 | Posto 4 | Posto 2 | Posto 1 |
| DISTÂNCIA | ----- | 658,4 km | 793,7 km | 999 km | 1112 km |
| ANTERIOR | 0 | Candeias | Posto 3 | Posto 4 | Posto 2 |

Fonte: Autora (2022).

Com isso, temos a redução de 1 km de distância no percurso de entrega, além da diminuição de um ponto de parada. Isso porque, na nova rota, a parada no posto 1 engloba o descarregamento e também a folga do motorista após finalizar a prestação do serviço.

4.4 ANÁLISE DOS DADOS DA ENTREVISTA

Este tópico discute os resultados obtidos a partir da entrevista realizada com o gestor empresarial, de forma a analisar e extrair os benefícios esperados pela organização.

Conforme Minayo (1998), os dados em uma pesquisa científica, devem estabelecer compreensão, confirmar ou não os pressupostos da pesquisa e responder as questões formuladas, de forma a ampliar o conhecimento sobre o assunto. Neste sentido, a entrevista realizada respondeu questionamentos, confirmou informações já pressupostas e auxiliou na compreensão de etapas importantes do processo. No primeiro momento, foi sinalizada a rota atual em uso para execução do serviço, de forma consoante com Kruger *et al.* (2018), o que caracteriza relevância desenvolver um planejamento de rotas e balancear os custos com combustível e manutenção da frota, para compensar lucro no transporte de produtos. Posteriormente, o gestor destacou alguns problemas enfrentados no trajeto, como grande quantidade de radares de fiscalização da velocidade, que a partir na frenagem do caminhão, provoca o aumento no consumo de diesel e do tempo de viagem pela redução da velocidade, a grande quantidade de pedágios, que interfere no lucro do serviço, além de também influenciar no tempo de viagem pelo acionamento do freio necessário para atravessar o local e por fim, os imprevistos vivenciados nas vias, como acidentes que atrasam o serviço, lacunas que caso não vistas podem danificar o veículo e trazer perigo para o trânsito. Portanto, conforme Teixeira (2016) fica claro a necessidade de que cada rota seja tratada diferentemente por existir diversos fatores que influenciam sua escolha e execução. A escolha da rota ideal posterga a análise do gasto do combustível na mesma. De acordo com Carvalho (2014), os custos ligados ao diesel têm alto peso no total dos custos da empresa, já que o valor desse produto tende a aumentar, tornando-se necessário esquematizar medidas que objetivem a redução do consumo. Conforme com Novo (2016), a preocupação deve ir além dos custos, já que as políticas de controle dos níveis de emissão estão mais severas e os programas são proibitivos até para veículos de fabricação mais antiga e alta manutenção. Neste sentido, analisar as informações colhidas e avaliar as rotas amplamente, podem trazer benefícios além da empresa, como os ambientais.

4.5 ANÁLISE DA PRIMEIRA AVALIAÇÃO DE ROTAS

Este tópico discute os resultados obtidos a partir da primeira avaliação com base na aprendizagem de rota por heurística simples, uma proposta reimplementada por Klugl et al (2002) e adaptada neste trabalho para a aplicação.

Inicialmente, é válida a discussão sobre as duas rotas selecionadas. A Rota 1 conta com uma menor distância e tempo de viagem, além de ser um percurso conhecido e rotineiro do motorista. Entretanto, possui 3 pedágios que encarecem a viagem. Já a rota dois possui 120 km a mais de percurso, conseqüentemente uma maior duração de viagem e um maior consumo de combustível, porém não possui nenhum pedágio. Conforme Ballou (2006), fazer uso do racional humano para determinar roteiros já acrescenta alguns resultados positivos e é notável o destaque da Rota 1. Segundo Bodin (1990), todo estudo de rotas possui elevada complexidade, e devido a isto, as soluções heurísticas são amplamente utilizadas, por conseguirem realizar um estudo de rotas de forma simples e aplicável, trazendo resultados.

Assim, para Ballou (2010) a escolha das melhores rotas passa por estabelecer em uma rede de vias os caminhos mais curtos, de menor tempo ou uma combinação destes. Dessa forma, após a investigação, a Rota 1 teve aproximadamente 265 pontos a menos que a Rota 2, indicando ser a melhor opção para o cenário atual da empresa na combinação destes fatores.

4.6 ANÁLISE DA APLICAÇÃO DO ALGORITMO DE DIJKSTRA

Este tópico discute os resultados obtidos a partir da aplicação do algoritmo de Dijkstra para análise da Rota 1 e do roteiro de entrega do produto.

Consoante com Souza (2015) o algoritmo de Dijkstra garante que ao explorar um vértice, o menor custo possível está armazenado nele e, conseqüentemente, o menor caminho pode ser encontrado. No princípio, a Rota 1 foi analisada para adquirir informações essenciais como a quilometragem total, para a comparação com o novo roteiro de entrega encontrado. É válido salientar que com a aplicação do algoritmo voltada para atender as prioridades do cliente, temos um serviço de maior qualidade, pontualidade e segurança. Quando comparado os resultados entre a Rota 1 de entrega e a Rota 3, foi percebido uma redução de 1 quilômetro no percurso total da prestação do serviço, que apesar de parecer pouco quando analisado em uma viagem isolada, no cenário anual da empresa gera resultados expressivos. Para isso, foram admitidas 4 viagens semanais, alternadas entre os

dois caminhões e seus respectivos motoristas, o que resulta em 16 viagens mensais e 16 quilômetros de economia. Já na perspectiva anual, temos um total de 192 prestações de serviço para esta rota, totalizando 192 quilômetros rodados a menos e uma poupança de 136,17 litros de diesel com base no consumo de combustível do caminhão, que calculado no valor atual de 7,53 reais o litro, resulta em uma economia de R\$ 1025,36 reais anuais por motorista de economia na rota. Deve-se destacar também a redução no desgaste do caminhão, já que temos uma redução no total de quilômetros rodados anualmente, poupando pneus e peças por exemplo. Além disso, na Rota 3 proposta temos também a diminuição de um ponto de parada, o que resulta em uma restrição no desgaste do motorista durante a viagem, já que o último descarregamento será realizado já na cidade onde será seu dia de folga.

Conforme PREUSLER et al. (2015), o transporte rodoviário exerce um papel fundamental para a economia e o país, destacando-se por possuir alta flexibilidade. Nesse sentido, compreender a atuação das funções do transporte possibilita enxergar pontos em que a cadeia de suprimentos pode ser aprimorada a fim de se obter vantagens competitivas, pois o transporte é a fase e tarefa mais importante dos processos logísticos, tanto pelo acervo e valor dos recursos que consome, como por mobilizar produtos de um ponto geográfico a outro. Portanto, neste estudo foi admitida a Rota 3 como o percurso ideal a partir do carregamento na base e chegada no primeiro posto de descarregamento, foi encontrado um caminho mínimo para entrega do produto por meio da aplicação do algoritmo de Dijkstra, que resultou em uma poupança de 192 km e 1025,36 reais anuais por caminhão e foi reduzido um ponto de parada no roteiro de entrega.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este tópico apresenta as ideias finais do estudo, especificando as contribuições alcançadas, as conclusões da monografia e algumas possibilidades de continuidade na pesquisa.

5.1 CONTRIBUIÇÕES

Este trabalho estudou o problema de rotas em uma transportadora de combustíveis, de modo a determinar a forma como ele se relaciona com outras

questões como consumo de diesel, tempo de execução do serviço e posicionamento do motorista atrelado ao seu desgaste proveniente da viagem.

Como a análise de rotas envolvia desde a saída da base carregadora até o primeiro posto de entrega e a ordem de descarregamento em cada ponto de parada, foram realizadas duas abordagens avaliativas. A primeira foi um estudo heurístico, uma proposta reimplementada por Klugl et al (2002) e adaptada neste trabalho, que buscou modelar o que seria preferível pelos motoristas em união com o que o gestor da empresa julgou como importante. A segunda avaliação foi a aplicação do algoritmo de Dijkstra, para encontrar o caminho mínimo, focado na parcela da rota responsável pela distribuição do combustível nos quatro postos.

Devido à complexidade das rotas não oferecerem novas alternativas para o algoritmo de Dijkstra, através do método do caminho mínimo, fica o aprendizado para a empresa replicar em outras situações, mas é de fundamental importância alternar os métodos através da roteirização, para aumentar o potencial de redução de consumo através da diversificação das entregas.

5.2 CONCLUSÕES

Notou-se que a metodologia proposta apresenta eficiência na análise das rotas para a transportadora. Ao entrevistar o gestor, percebeu-se grande domínio do processo e das rotas utilizadas, além da preocupação com os funcionários e suas demandas. O método heurístico utilizado apresentou grande viabilidade de aplicação por trazer as preferências dos motoristas, ponto importante para a empresa. Já a aplicação do algoritmo, trouxe o viés financeiro, estudando a rota com base no tempo, distância e consumo do combustível. Neste sentido, a abordagem foi considerada completa e relevante para o gestor empresarial. Percebeu-se ainda que a rota de distribuição do produto pode ser modificada de acordo com a demanda do cliente, ou seja, não é fixa.

Os resultados obtidos nesta monografia mostram que para os funcionários é importante uma rota de menor quilometragem, que seja possível manter o máximo a velocidade média durante a viagem de 100 km/h e que possibilite o menor consumo de diesel, já que é uma demanda do gestor que gera retorno financeiro por meio de benefícios para os motoristas, quando calculado o lucro obtido no serviço. Também é destacável a existência de uma rota ideal que possui menor quilometragem e tempo de viagem, denominada como Rota 1 no corpo do

trabalho, além de ser conhecida e rotineira dos operadores do caminhão, trazendo mais segurança para o gestor da empresa durante a prestação do serviço. Mostrou-se também relevante o estudo do percurso de entrega do produto nesta Rota 1, que é dividido em 4 postos, onde a partir da aplicação do algoritmo de Dijkstra e simulação do caminho mínimo, obteve uma nova sequência de descarregamento que reduziu 1 quilômetro da distância de cada viagem, na perspectiva anual, temos um total de 192 prestações de serviço para esta rota, totalizando 192 quilômetros rodados a menos e uma poupança de 136,17 litros de diesel com base no consumo de combustível do caminhão, que calculado no valor atual de 7,53 reais o litro, resulta em uma economia de 1025,36 reais anual por motorista, além do benefício de redução de um ponto de parada no roteiro de entrega, já que o último descarregamento será realizado na cidade de Vitória da Conquista, local onde o funcionário folga do serviço.

Portanto, os resultados mostram que os questionamentos foram respondidos no decorrer da monografia, as hipóteses foram confirmadas e os objetivos alcançados. Assim, a metodologia proposta mostrou-se eficiente como uma nova ferramenta de tomada de decisão para a empresa.

5.3 TRABALHOS FUTUROS

No cenário atual a preocupação das autoridades ambientais relacionada ao consumo de combustível e poluição ambiental é existente. Neste sentido, quanto menor o consumo de diesel menor a emissão de poluentes e impactos. Assim, uma abordagem realizável de extensão deste trabalho consiste na análise do quanto de emissão poderia ser reduzida a partir da economia de diesel pelo uso da rota mais econômica.

Outro ponto importante a ser estudado como continuidade desta monografia é a combinação de todas as ordens de descarregamento possível, já que essas ordens podem ser alteradas com base na demanda do cliente e trariam resultados de qual a sequência de postos seria mais econômica na prestação do serviço de acordo com o posto que o cliente demande ser descarregado em primeiro.

Por fim, as deliberações operacionais do transporte de distribuição aglomeram-se no uso da frota. Assim, a melhor utilização da frota é retratada na necessidade de um menor número de veículos e em menores custos operacionais, ou seja, antes de buscar aumentar a frota, aconselha-se a empresa realizar um estudo do

melhor aproveitamento dos caminhões atuais junto a este estudo de rotas, visando adquirir outros veículos caso realmente seja necessário.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, M. **Como Escrever Teses e Monografias**. 2. Ed. Elsevier Editora Ltda. Recife: Pernambuco, 2013.

ANTT. **1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários**. Ministério do Meio Ambiente, São Paulo. 2011.

ATZINGEN, J. V. et al. **Análise comparativa de algoritmos eficientes para o problema de caminho mínimo**. Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2012 – São Paulo, SP.

BALLOU, R. H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos/logística empresarial**. 5ª ed. Porto Alegre, Brasil: Bookman.2006.

BALLOU, R. H. **Logística Empresarial**. 1 ed. São Paulo: Atlas, 2010.

BODIN, L.D. **Twenty years of routing and scheduling**. Operations Research, v.38, n.4, p.571-579, 1990.

BRAUN, V et al. **Coleta de dados qualitativos: um guia prático para técnicas textuais, midiáticas e virtuais**. Petrópolis, Rj: Vozes, 2019.

CARVALHO, L. S.; MARTINS, T. M.; OLIVEIRA, M. A.; SILVA, M. D.; SANTOS, J. P.; SANTOS, J. A.; ARAÚJO, P. J. P.; **Redução de custo com combustível para uma frota**. Cadernos de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas Unit. Aracaju. v. 2, n.1, p. 55-62. Março. 2014.

CONAMA. **Resolução CONAMA Nº 005**. Conselho Nacional do Meio Ambiente, 15 de junho de 1989.

CORMEN, T.H., et al. **Algoritmos: Teoria e Prática**. Editora Campus. Dai L. 2005. Fast shortest path algorithm for road network and implementation. Honours Project - Carleton University – School of Computer Science.

CRCBA. **Conselho Regional de Contabilidade da Bahia**. Salvador, 2020.

FERGUNSON, N. **A Praça e A Torre**. Tradução de Angela Tesheiner e Galvin Adams. São Paulo: Planeta do Brasil, 2018.

FU, L., SUN, D., RILLET, L. R. **Heuristic shortest path algorithms for transportation application: State of the art**. 2006. Computers and Operations Research, v. 33, p.3324-3343

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de Pesquisa**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1ª Edição. 2009. Porto Alegre.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN G. J. **Introdução à Pesquisa Operacional**. 9. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

LISBOA, E. F. A. **Pesquisa Operacional**. Apostila do curso. Rio de Janeiro, RJ, 2002 – Brasil.

KLUGL, F. **Simulation of adaptive agents: learning heuristics for route choice in a commuter scenario**. In: Autonomous agents and multiagent systems, Aamas, 2002, Bologna, Italy.

KRUGER, S. D.; SOLIVO, C.; DIEL, F. J. **Análise da formação de custos logísticos entre rotas de transportes de uma Cooperativa do Oeste Catarinense**. XXV Congresso Brasileiro de Custos – Vitória, ES, Brasil, 12 a 14 de novembro de 2018.

MAIDA, J. P. **Teoria dos Grafos: Uma abordagem prática em Java**. 2020. Rio de Janeiro. Editora Casa do Código.

MEDEIROS, F. L. L., SILVA, J. D. S. **A Dijkstra Algorithm for Fixed-Wing UAV Motion Planning Based on Terrain Elevation**, In: 20 Simpósio Brasileiro de Inteligência Artificial (SBIA), 2010, São Bernardo do Campo, SP, Brasil.

MINAYO, Maria Cecília de Souza. **O desafio do conhecimento: pesquisa qualitativa em saúde**. 5. ed. São Paulo: Hucitec-Abrasco

NETTO, P. O. B. **Grafos: Teoria, Modelos, Algoritmos**. 2006. São Paulo. Editora Blucher.

NOVO, A. L. A.; **Perspectivas para o consumo de combustível no transporte de carga no Brasil: uma comparação entre os efeitos estrutura e intensidade no uso final de energia do setor**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Planejamento Energético. 2016.

OSLEN, W. **Coleta de dados: debates e métodos fundamentais em pesquisa social**. Porto Alegre: Penso. 2015.

PREUSLER, T. S et al. **Terceirização dos serviços de impressão como forma de obtenção da ecoeficiência em uma empresa pública de pesquisa agropecuária**. Revista IPTEC, v. 3, n. 2, p. 239-253. 2015.

RABENSCHLAG, D. R. **Pesquisa Operacional**. Universidade Federal de Santa Maria. Centro de Tecnologia. Rio Grande do Sul: 2005.

SCHWAAB, M.; **Análise de dados experimentais I: Fundamentos de estatística e estimação de parâmetros**. Rio de Janeiro; E-papers, 462p, v1, 2007.

SOUZA, M. A.; WEBER, E. L.; CAMPOS, R. H. **Práticas de gestão de custos logísticos internos: estudo de caso em empresa moveleira do sul do Brasil.** Revista Contemporânea de Contabilidade, v. 12, n. 25, p. 27-46, 2015.

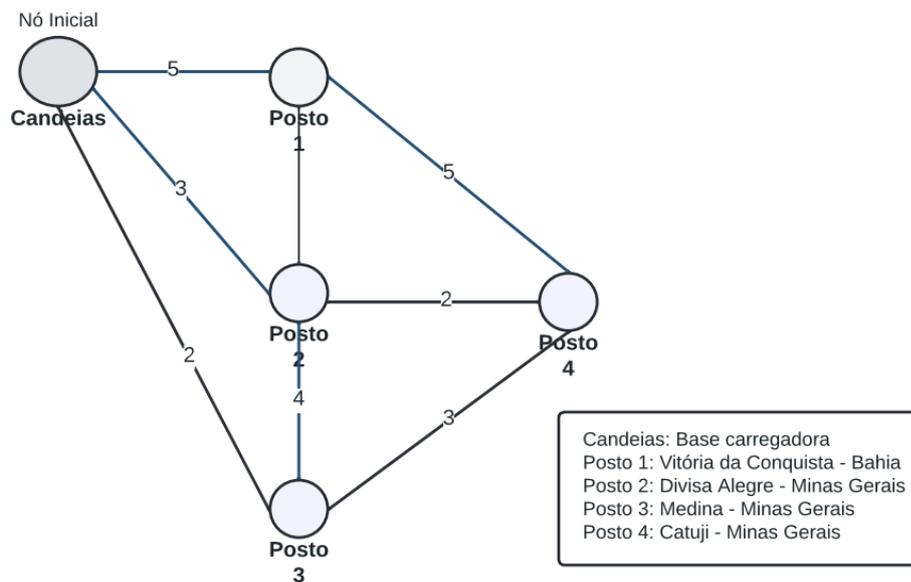
UCHOA, J. S. **Caminhos mínimos com recursos limitados.** Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Ferreira. 180 f. Dissertação (Mestrado em Administração) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

YIN, R.K. **Estudo de caso. Planejamento e métodos.** Tradução de Daniel Grassi. 5ed. 2015. Porto Alegre (RS): Bookman. 290 p.

WAHLE, J.; BAZZAN, A. L. C.; KLUGL, F.; SCHRECKENBERG, M. **Decision Dynamics in a Traffic Scenario.** J. Phys. A, v 287, p. 669-681, 2000.

APÊNDICES

APÊNDICE A - GRAFO NO QUAL FOI APLICADO O ALGORITMO DE DIJKSTRA



APÊNDICE B - TABELAS REFERENTES À APLICAÇÃO DO ALGORITMO DE DIJKSTRA

| Legenda | |
|---------|----------|
| C | Candeias |
| P1 | Posto1 |
| P2 | Posto 2 |
| P3 | Posto 3 |
| P4 | Posto 4 |

| Vértice | Passo 1 | Passo 2 | Passo 3 | Passo 4 | Passo 5 |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| C | 0,C | * | * | * | * |
| P1 | 5,C | | | | |
| P2 | 3,C | | | | |
| P3 | 2,C | | | | |
| P4 | ∞ | | | | |

Nó não adjacente a C: P4 = ∞
Nó não mais visitado: *

| Vértice | Passo 1 | Passo 2 | Passo 3 | Passo 4 | Passo 5 |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| C | 0,C | * | * | * | * |
| P1 | 5,C | | | | |
| P2 | 3,C | | | | |
| P3 | 2,C | 2,C | | | |
| P4 | ∞ | | | | |

Caminho de menor custo C,P3 = 2

| Vértice | Passo 1 | Passo 2 | Passo 3 | Passo 4 | Passo 5 |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| C | 0,C | * | * | * | * |
| P1 | 5,C | ∞ | | | |
| P2 | 3,C | 6,P3 | | | |
| P3 | 2,C | 2,C | | | |
| P4 | ∞ | 5,P3 | | | |

| Vértice | Passo 1 | Passo 2 | Passo 3 | Passo 4 | Passo 5 |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| C | 0,C | * | * | * | * |
| P1 | 5,C | ∞ | | | |
| P2 | 3,C | 6,P3 | | | |
| P3 | 2,C | 2,C | | | |
| P4 | ∞ | 5,P3 | 5,P3 | | |

Caminho de menor custo C,P4 = 5

| Vértice | Passo 1 | Passo 2 | Passo 3 | Passo 4 | Passo 5 |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| C | 0,C | * | * | * | * |
| P1 | 5,C | ∞ | 10,P4 | | |
| P2 | 3,C | 6,P3 | 7,P4 | | |
| P3 | 2,C | 2,C | * | | |
| P4 | ∞ | 5,P3 | 5,P3 | | |

| Vértice | Passo 1 | Passo 2 | Passo 3 | Passo 4 | Passo 5 |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| C | 0,C | * | * | * | * |
| P1 | 5,C | ∞ | 10,P4 | | |
| P2 | 3,C | 6,P3 | 7,P4 | | |
| P3 | 2,C | 2,C | * | | |
| P4 | ∞ | 5,P3 | 5,P3 | | |

Caminho de menor custo C,P2 = 7

| Vértice | Passo 1 | Passo 2 | Passo 3 | Passo 4 | Passo 5 |
|---------|----------|----------|---------|---------|---------|
| C | 0,C | * | * | * | * |
| P1 | 5,C | ∞ | 10,P4 | 8,P2 | 8,P2 |
| P2 | 3,C | 6,P3 | 7,P4 | 7,P4 | * |
| P3 | 2,C | 2,C | * | * | * |
| P4 | ∞ | 5,P3 | 5,P3 | * | * |

Caminho de menor custo de (C,P1) é passando por P3, P4 e P2 = 8

APÊNDICE C - GRAFO FINAL ENCONTRADO COMO RESULTADO DA APLICAÇÃO DO ALGORITMO DE DIJKSTRA

