

UTILIZAÇÃO DA FERRAMENTA OR-TOOLS NA RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS DE ROTEAMENTO DE VEÍCULOS COM DADOS DE REDES REAIS

USING THE OR-TOOLS TOOL TO SOLVE VEHICLE ROUTING PROBLEMS WITH REAL NETWORK DATA

Luan Cosme dos Santos*

Diego Rocha Lima**

RESUMO

A geração de rotas mais atrativas vem se tornando um tópico cada vez mais imprescindível quando o assunto é roteamento. Aprimorar a atratividade visual em um plano de roteamento vem provando ser uma maneira bastante eficiente e eficaz para facilitar uma maior colaboração entre os níveis de planejamento e operacionais do transporte. A grande problemática que se forma através do roteamento é projetar rotas de veículos em um sistema de distribuição que sejam, simultaneamente, econômicas e visualmente atraentes. Os problemas de roteamento de veículos são amplamente estudados na literatura, onde esses algoritmos possuem inúmeras instâncias. Essas instâncias possuem dados euclidianos. Mas, na prática, quando os algoritmos são implementados no setor logístico, os dados de entrada são compostos por coordenadas reais (georreferenciadas). Diante do exposto, a nossa pretensão está em observar e explorar a aplicação da ferramenta da *OR-Tools* para resolver problemas de roteamento de veículos, a partir de instâncias reais. Apresentando assim como resultados a análise dessas rotas geradas que podem ser utilizadas pelo setor logístico e verificando se as mesmas contém características que compõem a atratividade visual nos planos de rotas.

Palavras-chave: Atratividade Visual. Roteamento. Planejamento. OR-Tools.

ABSTRACT

The generation of more attractive routes is becoming an increasingly important topic when it comes to routing. Improving the visual attractiveness of a routing plan is proving to be a very efficient and effective way to facilitate greater collaboration between the planning and operational levels of transportation. The major problem that forms through routing is to design vehicle routes

* Graduando em Bacharelado em Ciência da Computação, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), Aracati, Ceará, Brasil. E-mail: luancosmefilho@gmail.com

** Diego Rocha é Doutor em Engenharia da Computação (UFRN), Mestre em Ciência da Computação (UFERSA), Graduado em Ciência da Computação (UERN) e Docente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), Aracati, Ceará, Brasil. E-mail: diego.rocha@ifce.edu.br

in a distribution system that are both economical and visually attractive. Vehicle routing problems are widely studied in the literature, where these algorithms have numerous instances. These instances have Euclidean data. But in practice, when the algorithms are implemented in the logistics industry, the input data is composed of real coordinates (georeferenced). Given the above, our intention is to observe and explore the application of the OR-Tools tool to solve vehicle routing problems, starting from real instances. Thus, presenting as results the analysis of these generated routes that can be used by the logistics sector and verifying if they contain characteristics that compose the visual attractiveness in the route plans.

Keywords: Visual attractiveness. Routing. Planning. OR-Tools.

1 INTRODUÇÃO

A temática do Problema de Roteamento de Veículos (PRV), é um dos mais estudados na área da otimização combinatória (POOT; KANT; WAGELMANS, 2002). Ele consiste em demarcar as rotas que uma determinada frota de veículos deve fazer para a coleta e entrega de itens em locais apontados pelo cliente. Todo item possui geralmente um determinado peso ou tamanho associado a ele. A quantia total dessas medidas não pode ultrapassar a capacidade de carga do veículo para dar prosseguimento no transporte.

Este problema corresponde a problemas de otimização no intuito de cobrir os nós de um grafo, contendo um nó central representando o depósito, com o objetivo de gerar um trajeto que possua um mínimo custo nas operações. Ao resolver um PRV, muitos objetivos e restrições podem ser considerados, dependendo da aplicação de interesse. Isso leva a um elevado número de diferentes variantes: como por exemplo, o VRP com restrição de distância, o VRP capacitado (CVRP), em que veículos com capacidade de carga limitada precisam coletar ou entregar itens em vários locais.

O problema é recolher ou entregar os itens com o menor custo, através do somatório das distâncias a serem percorridas por todos os veículos, sem ultrapassar a capacidade dos veículos, o VRP com janelas de tempo (VRPTW), que envolvem agendamento de visitas a clientes que estão disponíveis apenas durante janelas de tempo específicas, etc. O VRP é tido como um problema NP-difícil (TOTH; VIGO, 2014).

Na literatura científica, Dantzig e Ramser foram os primeiros autores a formular o VRP, em (DANTZIG; RAMSER, 1959), quando estudaram a aplicação real na distribuição de gasolina para estações de venda de combustíveis no trabalho.

Suas diferentes ramificações vêm sendo estudadas há anos em toda a literatura presente. Apesar disso, esses tópicos continuam de forma bastante ativa. O novo rumo desses estudos tem-se dirigido principalmente para a resolução de problemas da vida real (MUNGWATTANA; SOONPRACHA; JANSSENS, 2019).

O grande objetivo dos estudos nessa área se dá essencialmente à necessidade da diminuição de gastos que envolve toda a operação de seu transporte. Essa necessidade tem elevado de forma exponencial, por ser um assunto que impacta diretamente na concorrência de grandes empresas e indústrias.

Outro objetivo que tem sido considerado fundamental nos estudos é a chamada “Atratividade Visual” das rotas (ROCHA et al., 2022). Apesar de que ainda não se tenha uma definição precisa do que se trata a atratividade visual, inúmeros autores identificam esse conceito com a presença de um conjunto de características que as rotas devem apresentar: como a compactação das rotas e o mínimo de sobreposição entre os cascos convexos das rotas, a fim de reduzir a quantidade total de cruzamentos entre as rotas ou reduzir o número de clientes que estão mais próximos do centro de outra rota do que o centro da rota a que estão atribuídos.

O primeiro uso desse termo nos problemas de roteamento se deu em (POOT; KANT; WAGELMANS, 2002) para expressar as necessidades de seus clientes. Esse conceito, mesmo que ainda novo, tem sido frequentemente visto de forma central no projeto de planos de rotas. Pois aplicações que incluem essas características são mais atraentes para os humanos e geralmente percebidas como melhores do que aquelas sem elas.

Em (LU; DESSOUKY, 2006) e (POOT; KANT; WAGELMANS, 2002) mostram que a adição de restrições visuais também melhorou o custo das soluções para algumas variantes de VRP.

Recentemente, (ROSSIT et al., 2019) elaboraram uma ampla pesquisa sobre a importância de produzir soluções com as características da Atratividade Visual presente para a resolução dos problemas de VRP, pois se mostraram ser mais aceitas pelos profissionais e operadores, favorecendo sua aceitação em situações práticas.

Embora a literatura sobre os aspectos que compreendem a Atratividade Visual ainda seja escassa, a geração das rotas "atrativas" é extremamente importante por serem mais intuitivas e até mesmo mais eficientes. Visto que os planos, quando elaborados com esses princípios, aparentam ser mais lógicos e mais próximos da forma real de trabalho, proporcionando uma maior confiança entre os motoristas e planejadores.

Dessa forma, é válido ressaltar que a Atratividade Visual vem ganhando força e notoriedade para que se torne um dos requisitos ao se resolver um problema de PRV.

Problemas de coleta de lixo em centros urbanos e empresas com foco em distribuição de produtos, podem ser alguns exemplos de problemas da vida real que podem ser afetados diretamente através destas práticas aqui explanadas.

O tópico da Atratividade Visual é de suma importância para auxiliar na otimização de um modelo de Problema de Roteamento de Veículos (PRV). Não só pelo fato de que um plano de roteamento “visualmente atrativo” é visto como mais intuitivo e lógico pelos níveis operacionais de uma organização, mas também porque planos visualmente atraentes podem gerar economias reais para as empresas em relação aos custos de implementação. Por esses motivos, é recomendável incluir alguns indicadores de atratividade visual durante o processo de otimização de um VRP.

Dessa forma, nossa proposta é observar e explorar a aplicação da ferramenta da *OR-Tools* para resolver problemas de roteamento de veículos, a partir de instâncias reais. Apresentando assim como resultados a análise dessas rotas geradas que podem ser utilizadas pelo setor logístico e verificando se as mesmas contêm características que compõem a atratividade visual nos planos de rotas.

A ferramenta *OR-Tools* é um pacote de *software* de código aberto para otimização disponibilizado pela *Google*, ajustado para enfrentar os problemas de alta complexidade em roteamento de veículos, fluxos, programação inteira e linear e programação de restrição.

Este trabalho está organizado da seguinte forma: Na Seção 2, são apresentados os principais conceitos fundamentais para o entendimento da proposta do trabalho; na Seção 3 são expostos alguns trabalhos relacionados a esta temática estudada; a Seção 4 descreve a metodologia da proposta; na Seção 5 são exibidos os resultados; a Seção 6, é composta das conclusões e trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção, são apresentados os principais conceitos necessários para a compreensão da proposta do trabalho, como os objetivos, organização e particularidades que envolvem os algoritmos que são utilizados.

2.1 Problemas de Roteamento de Veículos

O problema de roteamento de veículos (PRV) é um problema de Otimização Combinatória e Programação Inteira que implica em informar um conjunto ideal de rotas para uma frota de veículos percorrer a fim de entregar a um determinado conjunto de clientes (TOTH; VIGO, 2002). Os algoritmos exatos para o VRP são classificados em três grandes categorias: métodos de Busca Direta em Árvore, Programação Dinâmica e Programação Linear Inteira.

As meta-heurísticas emergiram da necessidade da redução do risco de paradas em ótimos locais distantes do ótimo global. São metamodelos de heurísticas que precisam apenas ser adaptados ao problema em estudo, dispensando a construção de algoritmos específicos. Como os PRVs são problemas de distribuição geográfica, os vértices componentes do problema podem estar relacionados aos comprimentos de via a serem percorridos, ou então referenciados em um sistema de coordenadas, de forma que as distâncias euclidianas entre os mesmos possam ser diretamente calculadas (BITTENCOURT et al., 2012).

O principal conceito desta temática consiste no atendimento de um conjunto de consumidores por intermédio de uma frota de veículos que partem de um ou mais pontos denominados depósitos. A restrição presente no VRP é que cada veículo v possui uma capacidade C_v e o somatório de todas as demandas dos consumidores atendidos por um veículo v não pode ultrapassar C_v . Portanto, o seu principal objetivo é minimizar o custo total da rota.

A função objetivo designada por um VRP pode variar de acordo com a sua devida aplicação. Contudo, alguns desses objetivos são comuns entre suas vertentes, que são:

- Gerar uma menor variação do tempo de viagem;
- Minimizar os custos totais do transporte com base na distância percorrida;
- Minimizar o número de veículos necessários para atender todos os clientes;

A otimização de rota é o processo de determinar as rotas de menor custo possíveis para chegar a um local . Esta metodologia ganhou popularidade no setor de transporte e logística, pois reduz o tempo gasto em viagens e ao mesmo tempo reduz o custo incorrido no processo. A melhor maneira de definir rotas ideais é minimizar a extensão da rota única mais longa entre todos os veículos. Esta é a definição certa se o objetivo é concluir todas as entregas o mais rápido possível (PERRON; FURNON, 2019-7-19).

2.1.1 Definição e Modelo

Considere um conjunto de clientes representados por $C = \{1, \dots, n\}$, de modo que uma demanda positiva seja associada a cada cliente $i \in C$. Para atender esses clientes, temos que desenhar rotas para uma frota com K veículos disponíveis em um único depósito. Cada rota deve começar no depósito, visitar um subconjunto de clientes e depois retornar ao depósito. Todos os clientes devem ser visitados exatamente uma vez. Por uma questão de clareza, assumimos uma frota homogênea de veículos, mas a discussão apresentada a seguir pode ser facilmente estendida para uma frota heterogênea.

Representamos o problema usando um grafo $G(N, E)$, no qual $N = C \cup \{0, n+1\}$ é o conjunto de nós associados aos clientes em C e para os nós de depósito 0 e $n+1$. Usamos dois nós para representar o mesmo depósito e impomos que todas as rotas devem começar em 0 e retornar a $n+1$. O Conjunto E contém os arcos (i, j) para cada par de nós $i, j \in N$. O custo de atravessar um arco $(i, j) \in E$ é denotado por c_{ij} . O objetivo do problema é determinar um conjunto de rotas de custo mínimo que satisfaça todos os requisitos definidos acima.

$$\min \sum_{i=0}^{n+1} \sum_{j=0}^{n+1} C_{ij} X_{ij}, \quad (1)$$

$$s.t. \sum_{j=1, j \neq i}^{n+1} X_{ij} = 1, \quad (2)$$

$$\sum_{i=0, i \neq h}^n x_{ih} - \sum_{j=1, j \neq h}^{n+1} x_{hj} = 0, \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{0j} \leq K, \quad (4)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}. \quad (5)$$

A Constante (2) garante que todos os clientes sejam visitados exatamente uma vez. A (3) assegura o fluxo correto dos veículos através dos arcos, afirmando que se um veículo chega a

um nó $h \in N$, então ele deve partir deste nó. A constante (4) limita o número máximo de rotas para K , o número de veículos. A função objetiva é definida por (1) e impõe que o custo total de viagem das rotas é minimizado.

2.1.2 Variantes dos Problemas de Roteamento de Veículos

- Problema de Roteamento de Veículos Capacitados:

É a variante mais estudada do problema de roteamento de veículos. Desse modo, é possível definir o problema como: dado um conjunto de pedidos de transporte e uma frota de veículos, o problema é encontrar um plano para determinar um conjunto de rotas de veículos que realize o transporte total ou parcial desses pedidos com a frota de veículos em questão a um custo mínimo. Os veículos precisam pegar itens em cada local que visitam, mas têm uma capacidade máxima de carga.

- Problema de Roteamento de Veículos com Janela de Tempo:

O problema pode ser descrito como a escolha de rotas para um número limitado de veículos para atender um grupo de clientes nas janelas de tempo. Cada local deve ser visitado dentro de uma janela de tempo específica.

- Problema de Roteamento de veículos com Coleta e Entrega:

O problema consiste em que cada veículo pega itens em vários locais e os deixa em outros. O problema é atribuir rotas para os veículos pegarem e entregarem todos os itens, minimizando o comprimento da rota mais longa.

- Problema de Roteamento de Veículos com Múltiplos Depósitos:

É um problema no qual os veículos partem e retornam para um dos vários locais de depósito. Portanto, além da definição das rotas dos veículos, também é necessário decidir de qual depósito os clientes são visitados.

2.2 O problema de roteamento de veículos capacitados (CVRP)

É a variante mais estudada do problema de roteamento de veículos e tem grande relevância acadêmica. Ele é um VRP em que os veículos com capacidade de carga determinada precisam coletar ou entregar mercadorias em vários locais. Essas mercadorias, por sua vez, possuem peso, e os veículos uma capacidade máxima para que seja possível a realização do transporte. A problemática consiste em recolher ou entregar esses itens com o menor custo possível sem que nunca ultrapasse a capacidade de carga dos veículos.

Existem um vasto elevado número de aplicações no mundo real que empregam esses métodos de solução baseados no CVRP com o auxílio de ferramentas computacionais. Esse sucesso se dá principalmente pelo fato de essas técnicas de otimização possuírem plena integração com os modelos de negócios das empresas e serem desenvolvidos baseados em modelos matemáticos

rigorosos, capazes de abrangerem grande parte das características do VRP associado ao mundo real.

Por isso, esses algoritmos assumem um papel essencial na busca de soluções viáveis com alta qualidade para as instâncias do mundo real, a fim de gerarem uma redução de gastos significativos em todo o custeio das operações.

2.3 A atratividade visual

A Atratividade Visual vem se tornando cada vez mais um tópico de extrema importância na resolução da otimização em um modelo de Problema de Roteamento de Veículos. Não só pelo fato de se ter um plano "mais atrativo visualmente", mas por ser visto como mais intuitivo pelo setor logístico e operacional. Além disso, por poder proporcionar gerar economias reais para as empresas em relação ao custo dos transportes. Por esse e outros motivos, é muito recomendada a inclusão de indicadores da Atratividade Visual durante o processo de otimização de um VRP.

Embora esse conceito seja relativamente novo no âmbito dos problemas de roteamento de veículos, esse termo teve seu primeiro uso em (POOT; KANT; WAGELMANS, 2002), para expressar as necessidades de seus clientes. Onde eles ressaltaram que esse conceito não estava relacionado apenas às medidas tradicionais, como o custo, número total de veículos utilizados, mas também a um conjunto de indicadores usados pelos clientes para decidir se um plano é aceitável ou não. A partir de então a literatura tem frequentemente destacado a importância desse termo nas diversas ramificações dessa problemática.

De acordo com (MATIS, 2008), se houver sobreposição de um conjunto de rotas, os motoristas que deveriam percorrê-las reclamarão. Além do mais, é apontado que os usuários desses planos de roteamento tendem a preferir modelo que possuem tais características.

Em (MOURGAYA; VANDERBECK, 2007), foi mostrado que soluções "bacanas" muitas vezes requerem um esforço muito menor para sua implementação prática, reduzindo o tempo necessário para instruir os motoristas sobre as rotas e podem ter uma duração mais estável porque se referem a áreas homogêneas em termos de condições de tráfego.

Em (BOSCH, 2014) foi afirmado que os praticantes tendem a rejeitar rotas feitas por algoritmos que, quando os veículos têm que se dirigir a uma região distante, também atendem clientes próximos ao trajeto de ida ou volta daquela região. Isso é visto como um uso ineficiente da capacidade do veículo porque os planejadores consideram que dirigir para uma região distante é a parte mais cara de uma rota.

A Atratividade Visual de um plano desempenha um papel importante na adoção de planos de roteamento, já que os profissionais podem, em parte, conduzir decisões logísticas com base em considerações estéticas. Alguns exemplos notáveis na literatura incorporam com sucesso métricas de Atratividade Visual para aumentar a robustez dos planos de roteamento.

3 TRABALHOS RELACIONADOS

Os problemas de roteamento continuam cada vez mais populares, muito em favor de resultados de diversos trabalhos que impactam diretamente na literatura deste assunto. Todos os trabalhos apresentados nesta seção estão de forma interligada ao contexto dos problemas de roteamento, alguns com foco na atratividade visual, outros de forma contextualizada baseado na temática.

Em (TANG; MILLER-HOOKS, 2006) foi apresentado uma heurística iterativa que consiste em um algoritmo baseado em *clustering* no contexto de um VRP com restrições de tempo máximo de viagem. A heurística funciona da seguinte maneira: no primeiro estágio, alguns clientes de sementes são escolhidos e os clientes são atribuídos à semente mais próxima por meio de um *Semi Assignment Problem* (SAP). A programação de visitas e o tempo de roteamento para cada cluster são determinados com um algoritmo heurístico *TSP*. Se algum determinado tempo de viagem da rota excede a duração máxima permitida, o *SAP* é resolvido usando uma matriz de custo diferente na qual as distâncias dos clientes para sementes de *cluster* sobrecarregadas são aumentadas, enquanto as distâncias para sementes de *cluster* viáveis são reduzidas. Se após um determinado número de iterações, o *SAP* não gerar uma solução viável, a reatribuição é feita de acordo com uma estratégia diferente. Trata-se de um *Multi-Object Assignment Problem* (MAP) que visa minimizar tanto o número de clientes mais próximos do centro de outra rota como a soma dos tempos de viagem de todas as rotas, ao limitar explicitamente o tempo de viagem de cada rota.

Em (ROSSIT et al., 2019), os autores apresentam uma série de métricas que são usadas para comparar a atratividade visual das soluções de VRP. Neste artigo, os autores realizam uma análise de correlação em profundidade para revelar qualquer dependência entre os métodos e recomendam o uso de um subconjunto deles. Em sua pesquisa, (ROSSIT et al., 2019) fala sobre a importância de produzir soluções visualmente atraentes para o VRP, pois são mais propensos a serem aceitos pelos operadores e profissionais, tornando mais fácil sua adoção em situações práticas. Seus autores declaram que existem três propriedades que as rotas devem possuir para se caracterizarem atraentes:

1. Compactação, o que significa que os pontos de demanda em uma rota devem estar relativamente perto um do outro;
2. Sem sobreposição ou sem cruzamento, o que significa que os veículos devem manter uma certa separação entre eles durante a execução de suas rotas para que suas rotas não se cruzem; e
3. Baixa complexidade, que está relacionada às características estruturais de cada rota individualmente (por exemplo, número de cruzamentos intra-rota, número de curvas irregulares).

Em (LU; DESSOUKY, 2006) e (ZHOU et al., 2006), uma inserção heurística é apresentada para resolver um VRP de vários veículos com coleta e entrega com janelas de tempo,

que considera uma penalização de evitação de cruzamento para calcular os custos de inserção. Ambos os grupos de autores afirmaram que no início da construção das vias é relativamente fácil encontrar inserções viáveis (e baratas) sem causar travessias, pois cada rota contém poucos clientes e muitos clientes estão disponíveis para estender as rotas. No entanto, quando a construção avança e as rotas atingem a saturação de capacidade, a lógica de despacho concentra-se menos em enfatizar a atratividade visual e mais em otimizar a extensão e o aproveitamento da capacidade. Para adaptar seu algoritmo à preservação da atratividade, os autores permitem inserções cada vez mais “feias”, reduzindo a penalidade de evasão de sobreposição de rotas conforme o número de clientes atribuídos aumenta. Eles testaram seu algoritmo em instâncias derivadas do *benchmark* de *Solomon* (SOLOMON, 1987) e compararam com o desempenho de seu Algoritmo de Inserção Sequencial (SIA) e uma heurística de inserção paralela obtendo resultados ligeiramente melhores em termos de atratividade visual e objetivos padrão.

Em (GRETTON; KILBY, 2013) apresenta-se um aplicativo para aumentar a atratividade visual das soluções obtidas pelo aplicativo Indigo, desenvolvido por (KILBY; VERDEN, 2011). O algoritmo é baseado no método *Adaptive Large Neighbourhood Search (ALNS)*, desenvolvido por Ropke e Pisinger (2006) e remove repetidamente um grande conjunto de clientes de uma solução e os insere usando um algoritmo heurístico simples. (GRETTON; KILBY, 2013) adotaram um algoritmo de inserção que considera também a atratividade visual tanto em termos de distância dos clientes à rota mediana (ou seja, o cliente que está mais próximo do centroide geométrico da rota) e a soma dos ângulos de conversão ao longo da rota, chamada energia de dobra. Eles relataram um resumo geral dos testes realizados em ambos os benchmarks da literatura (GEHRING; HOMBERGER, 1999; SOLOMON, 1987) e algumas instâncias do mundo real.

Em (HOLLIS; GREEN, 2012) é apresentado um algoritmo heurístico complexo que visa encontrar soluções visualmente atraentes, é desenvolvido para dar suporte às operações da *Schweppes Australia Pty. Ltd.* O algoritmo inclui um conjunto de operadores organizados em dois estágios diferentes: o primeiro é uma nova variação do SIA de Solomon (SOLOMON, 1987) e o segundo é um processo de busca local baseado no *Guided Local Search Algorithm (GLSA)* desenvolvido por (KILBY; PROSSER; SHAW, 1999). Como outros autores, (HOLLIS; GREEN, 2012) reconheceu que construir um plano de roteamento baseado exclusivamente em técnicas de inserção pode levar a rotas alongadas e não compactas. Eles descobriram que quando uma rota se aproxima de sua duração máxima permitida, o conjunto de clientes que podem ser legalmente inseridos é restrito ao subconjunto daqueles localizados na zona que conecta o depósito com a maioria dos clientes sendo atendidos na rota. Para evitar isso, (HOLLIS; GREEN, 2012) estabeleceu um critério de inserção alternativo: quando uma rota se aproxima da sua duração máxima permitida, apenas podem ser inseridos novos clientes que se aproximam progressivamente de um cliente já visitado. Assim, a função objetivo que orienta a busca local tenta não só reduzir os custos de roteamento padrão, mas também a sobreposição de cascos convexos associados às rotas.

Em (KRISTINA; SIANTURI; HUSNADI, 2020) é apresentado uma solução para o

problema de minimização de rota na cidade de *Bandung* na distribuição de medicamentos de uma empresa farmacêutica atacadista em suas entregas. Essa proposta se deu inicialmente pelo fato dessa empresa não possuir uma rota definida para realizar as entregas a cada cliente, e isso resultava numa formação da rota abaixo do ideal, assim, aumentando expressivamente os custos de transportes das operações. Diante das circunstâncias, iniciaram as pesquisas e propuseram um modelo de resolução para essa problemática com métodos de programação de restrição, bem como o solucionador *Google OR-Tools* e o programa de cálculo *Jupyter Notebook*. Segundo os autores, essa solução resultou em uma melhor sugestão de rota onde a distância de entrega para uma semana pode ser economizada em 18,18% e os custos de transporte podem ser economizados em 14,53% da rota inicial da empresa.

4 METODOLOGIA

Nessa seção são apresentadas as três etapas da metodologia utilizada para o desenvolvimento deste trabalho. Ela é detalhada em três etapas: (i) dados reais de uma malha viária; (ii) Integração dos dados com a *OR-Tools*; (iii) análise de resultados a partir da Atratividade Visual, conforme apresentado na sequência. A etapa inicial consiste na coleta de coordenadas geográficas reais, a fim de promovermos uma melhor simulação dos resultados com o nosso cotidiano. Em seguida, os dados coletados são integrados com a ferramenta da *OR-Tools* para serem executados com seus algoritmos e gerarem os planos de rotas. Por fim, esses planos de rotas gerados irão ser analisados com as métricas da Atratividade visual de um plano. A Figura 1 apresenta o fluxo de todo o processo de execução da metodologia.

Figura 1 – Fluxo da metodologia



Fonte: Elaborada pelos autores (2022).

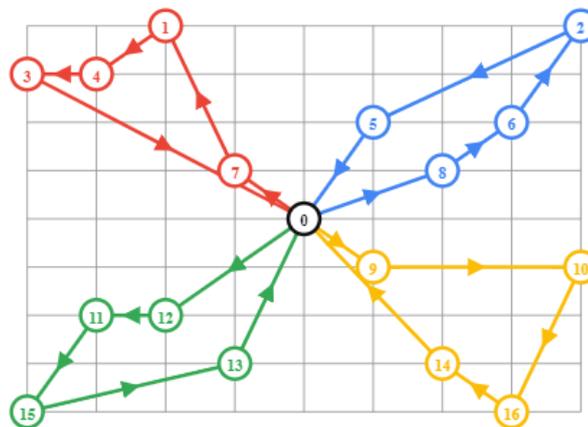
4.1 Dados Reais de uma Malha Viária

Uma malha viária é constituída por um conjunto de vias dos municípios, onde são classificadas e hierarquizadas segundo critérios funcionais, no qual são fortemente observados os padrões urbanísticos. Ela possui vias de transição, arteriais e coletoras, estabelecendo o principal suporte físico à mobilidade urbana.

No cenário nacional, a importância das malhas viárias é ainda mais evidentes, visto que o sistema de rodovias é o principal meio de transporte de cargas e passageiros no tráfego do país. A relevância desse tipo de transporte se dá desde o início da república, pelo fato de ser um agente fundamental para o meio de locomoção e de distribuição da maioria das cargas e produções que abastecem todo o território nacional, além de interligar os municípios.

Na maioria dos casos de estudos que envolvem a temática dos problemas de roteamento de veículos, heurísticas, meta-heurísticas e outras abordagens utilizadas para solucionar as diversas variantes dessa ramificação são testadas com experimentos em sua maioria com instâncias da biblioteca oficial (CVRPLIB - *All Instances*). Essas instâncias possuem dados euclidianos, como se pode ver na Figura 2 . Mas na prática, quando os algoritmos são implementados no setor logístico, os dados de entrada são compostos por coordenadas reais (georreferenciadas).

Figura 2 – Plano de Rota com Dados Euclidianos



Fonte: (PERRON; FURNON, 2019-7-19).

Tendo em vista os fatos apresentados, nossa proposta é poder trabalhar com valores reais referentes às coordenadas de determinado objeto espacial através de posições georreferenciais. Diante disso, é extremamente importante o auxílio de algumas ferramentas para que possamos obter esses valores concretos a fim de proporcionar uma melhor usabilidade por meio de todos que irão usufruir desses planos de rotas.

Algumas dessas ferramentas que podemos citar é o *Google Maps*, uma plataforma de mapeamento da web para o consumidor que é oferecida pelo Google. Onde são oferecidas imagens via satélites, mapas de ruas, coordenadas geográficas (latitude e longitude), vistas panorâmicas, no qual os seus pontos são capazes de fornecer instruções de direção, e assim serviriam para realizar os determinados testes.

Outra ferramenta é a *OpenStreetMap*, é um projeto de mapeamento colaborativo para ajudar na criação de mapas livres e editáveis de todo mundo. A sua tradução para a língua portuguesa significa “Mapa Aberto de Ruas”. São fornecido fotografias aéreas, imagens de satélites, coordenadas geográficas (latitude e longitude) que pode estender-se a toda uma área, da mesma forma podem ajudar na coleta de dados reais. É interessante ainda afirmar, que os dados

e metadados ofertados pelo OpenStreetMap são dados abertos, ou seja, disponíveis na licença de banco de dados aberta.

4.1.1 Instâncias Utilizadas

Dada a importância da utilização de dados reais na problemática de roteamento de veículos, este trabalho utilizará como instâncias, três cidades e um caso de endereços de uma empresa, simulando seu plano de roteamento gerado pela *OR-Tools*, com três, quatro e cinco veículos respectivamente.

Os dados das três cidades citadas anteriormente, são pontos aleatórios, com o intuito de simular um plano de rota qualquer, nas cidades de *Fortaleza*, *Londres* e *Paris*. Já os endereços da empresa, são lojas de uma conhecida rede de farmácias situadas em Fortaleza, a fim de simular um plano de rota com os endereços coletados partindo de um depósito.

Essas instâncias serão descritas de forma abreviada para facilitar seu uso. Por exemplo, a cidade de Fortaleza será utilizada como: *For_v3_c15* (simboliza a cidade de Fortaleza, com três veículos e quinze pontos), ou seja, é representada por *Cidade-QuantidadeDeVeiculos-QuantidadeDePontos*.

4.2 Integração dos Dados com a OR-Tools

O *Google OR-Tools* é um pacote de software gratuito e de código aberto desenvolvido pelo Google para resolver alguns problemas da área da computação como programação linear, programação de restrição, roteamento de veículos e etc. Onde busca encontrar a melhor solução para um problema a partir de um conjunto muito grande de soluções possíveis. Ele usa algoritmos de última geração para restringir o conjunto de pesquisa, a fim de encontrar uma solução ótima ou próxima da ótima. É escrito em *C++*, mas também pode ser utilizado com *Python*, *Java* ou *CSharp(C#)*.

Geralmente, problemas como esses têm um grande número de soluções possíveis, muitas delas para que um computador possa pesquisar todas elas. Para superar isso, a *OR-Tools* usa algoritmos de última geração para restringir o conjunto de busca, a fim de encontrar uma solução ótima.

Neste trabalho, utilizaremos o conjunto de algoritmos pertencentes a problemática de roteamento de veículos, ele oferece um conjunto de opções ajustáveis que podem ser aplicados nessa temática.

Esses algoritmos são divididos em dois grupos: *First Solution Strategy* e *Local Search Options*. Após ser feito um processo de calibração, em que foi feita uma análise prévia com o objetivo de descobrir quais métodos ofereciam as melhores soluções, foram utilizados os algoritmos citados a seguir.

4.2.1 First Solution Strategy

O modelo *First Solution strategy* é utilizado pelo algoritmo de cálculo de rotas para encontrar uma solução inicial ele contém um conjunto de opções, entre elas citamos algumas usadas em nosso caso: *PATH_CHEAPEST_ARC*. A partir de um nó inicial de rota, conecta ao nó que produz o segmento de rota mais barato e, em seguida, estende a rota iterando no último nó adicionado à rota; *SAVINGS*, algoritmo de poupança (CLARKE; WRIGHT, 1964); *LOCAL_CHEAPEST_ARC*, seleciona o primeiro nó com um sucessor não vinculado e conecta ao nó que produz o segmento de rota mais barato.

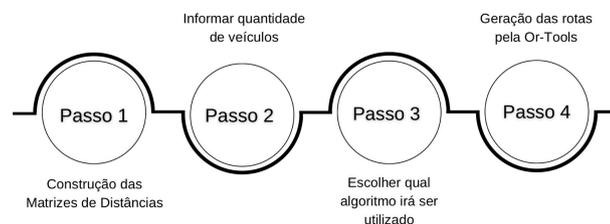
4.2.2 Local Search Options

O modelo *Local search Options* as opções para as estratégias de busca local (também chamadas de meta-heurísticas), entre elas citamos algumas usadas em nosso caso: *GUIDED_LOCAL_SEARCH*, usa a busca local guiada para escapar dos mínimos locais. Esta é normalmente a meta-heurística mais eficiente para problemas dessa temática; *TABU_SEARCH* usa a pesquisa tabu para escapar dos mínimos locais (PERRON; FURNON, 2019-7-19).

4.2.3 Processamento

O processamento para utilizar toda a ferramenta é bem simples e fluído. De forma inicial, é necessário informar os endereços de para a *Google Distance Matrix API*, que é a *api* de distâncias do *google* que serão utilizados, ela retorna uma matriz de distâncias que será usada na integração com a ferramenta da *Or-Tools*. Após isso, é preciso informar a quantidade de veículos que será utilizado naquele plano de rota. A próxima etapa consiste na escolha do algoritmo que será utilizado para resolver o problema. E por fim, a ferramenta nos retorna o plano de rota gerado. A Figura 3 exibe toda a sequência do processo.

Figura 3 – Processamento de uso da ferramenta *OR-Tools*



Fonte: Elaborada pelos autores (2022).

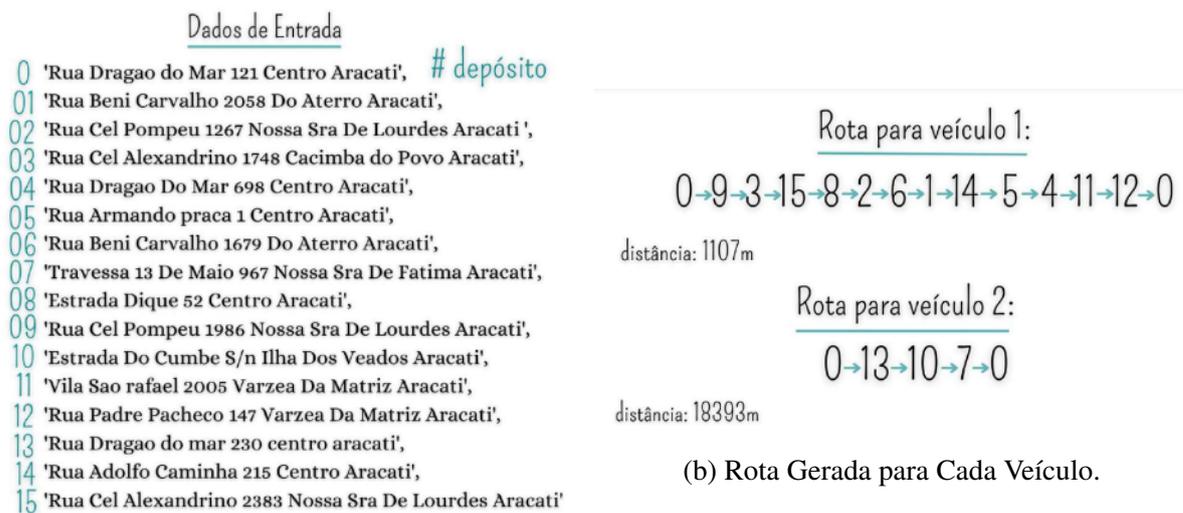
4.2.3.1 Entrada e Saída dos Dados

Nesta seção é representada de forma simples e sucinta o formato a qual os dados são recebidos como entrada e devolvidos como saída. A entrada dos dados, pode ser feita de duas

maneiras. Tanto de forma que o endereço seja escrito por extenso ou informado as coordenadas georreferenciadas (latitude e longitude) (Figura 4a). A saída gerada pela ferramenta da OR-Tools, é representada com a rota que deve ser cumprida por cada veículo que está designado para executar o plano de rota gerado (Figura 4b).

Toda essa composição exemplificada anteriormente, compete a utilização do modo a qual a ferramenta *OR-Tools* é utilizada, é válido afirmar que seu uso é feito de forma bem clara, possibilitando um bom manuseio da mesma. Assim, se tornando uma ferramenta que além de potente, também possui uma boa usabilidade, viabilizando diversas possibilidades para quem usufrui de seus serviços. Essas informações podem ser visualizadas na Figura 4

Figura 4 – Definição de dados de entrada e rota gerada.



(b) Rota Gerada para Cada Veículo.

(a) Dados Reais Fornecidos.

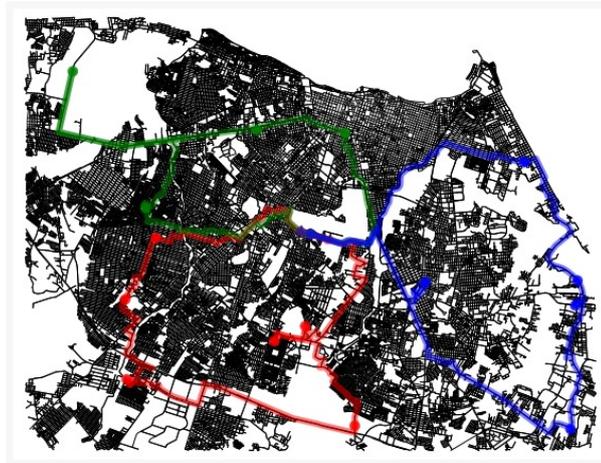
Fonte: Elaborada pelos autores (2022).

4.3 Análise de Resultados a Partir da Atratividade Visual de um plano

Melhorar a Atratividade Visual em um plano de roteamento provou ser uma maneira eficaz de facilitar a implementação prática e a colaboração positiva entre os níveis de planejamento e operacionais no transporte. Esse tópico vem sendo impulsionado por solicitações de profissionais, considerarem, de forma explícita ou implícita, que esse aspecto no processo de otimização pode beneficiar diretamente as diversas aplicações de roteamento.

Apesar da relativa vagueza inerente à definição da atratividade visual de um plano, este conceito tem sido frequentemente considerado como central na concepção de planos de roteamento. Algumas literaturas, apontam que planos visualmente atraentes parecem ser mais lógicos e mais próximos da forma tradicional de trabalhar, gerando confiança no plano entre os motoristas e planejadores, o que leva à rápida aceitação do sistema, como pode ser observado na Figura 5.

Figura 5 – Plano de Rota com Atratividade Visual



Fonte: Elaborada pelos autores (2022).

Outro aspecto importante da Atratividade Visual de um plano é a necessidade de interação com o planejador. Como a Atratividade Visual é um conceito subjetivo, a opinião de especialistas é importante para o sucesso da implementação. É por isso que alguns autores consideraram a inclusão da opinião de especialistas durante o processo de otimização (MATIS, 2008; TANG; MILLER-HOOKS, 2006)

Em (ROSSIT et al., 2019) são apresentadas algumas métricas em que é possível medir a Atratividade Visual de um plano. Dentre elas, divididas em dois grupos: identificadas como $COMP_a - COMP_f$, medidas que consideram a compacidade espacial e geográfica das rotas em uma solução e identificadas como $PROX_a - PROX_c$, medidas que consideram a proximidade da rota ligada aos clientes sendo atribuídos à rota mais próxima.

4.3.1 Métricas Utilizadas

Através dessas métricas apresentados nessa *literatura*, será possível junto aos resultados obtidos com o auxílio da ferramenta *Google OR-Tools*, é possível uma classificação e uma posição resultante a comparação com os aspectos calculáveis dos princípios da atratividade visual nos planos de roteamento. Neste trabalho, são utilizados as seguintes métricas:

- Medida de compactação introduzida por (MATIS, 2008):

$$COMP^a = \frac{AvgDist_I}{AvgMaxDist_I} \quad (6)$$

onde $AvgDist_I$ é a distância média de dois clientes consecutivos em uma rota I e $AvgMaxDist_I$ é a distância média das distâncias 20% mais longas entre duas distâncias consecutivas clientes na rota I . Quanto maior esse valor, mais compacta é a solução.

- Medida de Cruzamento - *CROSS*:

Número de cruzamentos em uma mesma rota como em (POOT; KANT; WAGELMANS, 2002). Número total de cruzamentos entre os arcos pertencentes à mesma rota I . Neste caso, quanto menor o número de cruzamentos melhor a solução é.

As métricas empregadas foram selecionadas por possuírem um menor grau de complexidade, assim, facilitando suas implementações.

5 RESULTADOS

Nesta seção de resultados, primeiramente, são ilustrados as métricas da aplicação que foram obtidas através da execução das instâncias modeladas, de acordo com o contexto apresentado. Também é apresentado os resultados obtidos através das métricas selecionadas para a análise da atratividade visual de cada plano de rota gerada. A Tabela 1 apresenta os valores das distâncias totais em metros, em todas as instâncias executadas nas três cidades citadas anteriormente, com os algoritmos utilizados, pode se verificar que em todos os casos propostos há uma grande similaridade nos resultados.

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos da execução das instâncias das cidades com quinze pontos resolvidas com os algoritmos propostos, com o objetivo de minimizar a distância total das rotas. No geral, todos obtiveram um bom resultado no quesito da Atratividade Visual, em relação ao número de cruzamentos e compactação das rotas.

Os algoritmos *GUIDED_LOCAL_SEARCH* e *TABU_SEARCH*, são meta-heurísticas que compõem o grupo *Local Search Options*, em seu uso, obtiveram um valor bem significativo. Como mostra a Tabela 3, os resultados gerados da execução das instâncias das cidades com trinta pontos, aplicando as métricas de atratividade visual. Cada algoritmo gerado, tem suas peculiaridades e características de solução, mas em geral, todos obtiveram resultados satisfatórios, principalmente quando associamos eles ao nosso dia a dia.

A maioria dos casos solucionados pela *Or-Tools*, são problemas que possuem um grande número de soluções possíveis. Para que isso fosse superado, a ferramenta utiliza algoritmos de última geração para restringir o conjunto de buscas, a fim de encontrar uma solução ótima ou próxima da ótima (PERRON; FURNON, 2019-7-19). Nela, contém uma biblioteca especializada para identificar as melhores rotas de veículos dadas as restrições, utilizada para resolver problemas de roteamento de veículos.

O desempenho dos algoritmos do grupo *First Solution Strategy: PATH_CHEAPEST_ARC, SAVINGS, LOCAL_CHEAPEST_ARC* também foram significativos, os mesmos alcançaram resultados consideráveis, principalmente quando levamos em conta que estamos utilizando instâncias reais.

A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos da execução das instâncias com maior número de pontos, e mesmo com essa prerrogativa, podemos mencionar e observar que a Atratividade Visual dos planos de rotas gerados estão de acordo com as características que predominam nesse

| | PATH_ CHEAPEST_ ARC | SAVINGS | LOCAL_ CHEAPEST_ ARC | GUIDED_ LOCAL_ SEARCH | TABU_ SEARCH |
|------------|---------------------------|-----------|----------------------------|-----------------------------|-----------------|
| Instância | Distância | Distância | Distância | Distância | Distância |
| For_v3_c15 | 156412m | 156412m | 156412m | 156412m | 156412m |
| For_v4_c15 | 175659m | 175659m | 175659m | 175659m | 175659m |
| For_v5_c15 | 200791m | 200791m | 200791m | 200791m | 200791m |
| Par_v3_c15 | 403883m | 372446m | 372446m | 372446m | 403883m |
| Par_v4_c15 | 421795m | 421795m | 421795m | 421795m | 421795m |
| Par_v5_c15 | 491579m | 491579m | 491579m | 491579m | 491579m |
| Lon_v3_c15 | 328261m | 332209m | 339030m | 328261m | 328261m |
| Lon_v4_c15 | 372241m | 372241m | 357629m | 421797m | 372241m |
| Lon_v5_c15 | 450817m | 450817m | 461560m | 450817m | 450817m |
| For_v3_c30 | 192913m | 218320m | 199592m | 192913m | 192913m |
| For_v4_c30 | 222184m | 237174m | 225271m | 221460m | 224204m |
| For_v5_c30 | 249674m | 263797m | 253335m | 249639m | 249674m |
| Par_v3_c30 | 482669m | 505190m | 503767m | 466713m | 482669m |
| Par_v4_c30 | 546381m | 521694m | 540423m | 538930m | 546381m |
| Par_v5_c30 | 573380m | 521694m | 569473m | 573380m | 573380m |
| Lon_v3_c30 | 364820m | 384296m | 410999m | 364820m | 364820m |
| Lon_v4_c30 | 435939m | 394718m | 388586m | 434070m | 388298m |
| Lon_v5_c30 | 414820m | 415155m | 459083m | 414820m | 448697m |
| For_v3_c45 | 240022m | 267595m | 240788m | 228890m | 240022m |
| For_v4_c45 | 251113m | 266497m | 259484m | 247671m | 242691m |
| For_v5_c45 | 270472m | 285727m | 274214m | 270446m | 275297m |
| Par_v3_c45 | 549885m | 541359m | 519831m | 517510m | 549885m |
| Par_v4_c45 | 637582m | 566871m | 588927m | 565980m | 552870m |
| Par_v5_c45 | 600033m | 642811m | 629827m | 593032m | 600033m |
| Lon_v3_c45 | 529973m | 464818m | 490409m | 529973m | 515330m |
| Lon_v4_c45 | 556792m | 503044m | 529398m | 502999m | 510375m |
| Lon_v5_c45 | 589255m | 564406m | 584595m | 554760m | 557100m |

Tabela 1 – Distância total das rotas para cada algoritmo proposto.

| Instância | PATH_ CHEAPEST_ ARC | | SAVINGS | | LOCAL_ CHEAPEST_ ARC | | GUIDED_ LOCAL_ SEARCH | | TABU_ SEARCH | |
|------------|---------------------------|-------|-------------------|-------|----------------------------|-------|-----------------------------|-------|-------------------|-------|
| | COMP ^a | CROSS | COMP ^a | CROSS | COMP ^a | CROSS | COMP ^a | CROSS | COMP ^a | CROSS |
| For_v3_c15 | 0,7 | 0 | 0,7 | 0 | 0,7 | 0 | 0,7 | 0 | 0,7 | 0 |
| For_v4_c15 | 0,6 | 0 | 0,6 | 0 | 0,6 | 0 | 0,6 | 0 | 0,6 | 0 |
| For_v5_c15 | 0,5 | 0 | 0,4 | 0 | 0,5 | 0 | 0,5 | 0 | 0,5 | 0 |
| Par_v3_c15 | 0,5 | 0 | 0,6 | 1 | 0,6 | 1 | 0,6 | 1 | 0,5 | 0 |
| Par_v4_c15 | 0,6 | 0 | 0,6 | 0 | 0,6 | 0 | 0,6 | 0 | 0,6 | 0 |
| Par_v5_c15 | 0,5 | 0 | 0,5 | 0 | 0,5 | 0 | 0,5 | 0 | 0,5 | 0 |
| Lon_v3_c15 | 0,5 | 1 | 0,5 | 0 | 0,6 | 2 | 0,5 | 1 | 0,5 | 1 |
| Lon_v4_c15 | 0,6 | 0 | 0,6 | 0 | 0,5 | 2 | 0,6 | 2 | 0,6 | 0 |
| Lon_v5_c15 | 0,5 | 0 | 0,5 | 0 | 0,5 | 0 | 0,5 | 0 | 0,5 | 0 |

Tabela 2 – Métricas de compactação e cruzamento com quinze pontos.

conceito. Pode-se observar que os algoritmos propostos apresentam valores bem interessantes e relevantes para nossa problemática.

Como já citado anteriormente no texto, grande parte dos trabalhos realizados na temática de problemas de roteamento de veículos, não utilizam instâncias reais. Nesse contexto, este

| Instância | PATH_CHEAPEST_ARC | | SAVINGS | | LOCAL_CHEAPEST_ARC | | GUIDED_LOCAL_SEARCH | | TABU_SEARCH | |
|------------|-------------------|-------|-------------------|-------|--------------------|-------|---------------------|-------|-------------------|-------|
| | COMP ^a | CROSS | COMP ^a | CROSS | COMP ^a | CROSS | COMP ^a | CROSS | COMP ^a | CROSS |
| For_v3_c30 | 0,6 | 2 | 0,5 | 1 | 0,6 | 2 | 0,6 | 2 | 0,6 | 2 |
| For_v4_c30 | 0,5 | 2 | 0,6 | 1 | 0,5 | 2 | 0,6 | 0 | 0,6 | 1 |
| For_v5_c30 | 0,5 | 1 | 0,5 | 4 | 0,5 | 2 | 0,5 | 2 | 0,5 | 1 |
| Par_v3_c30 | 0,5 | 1 | 0,5 | 4 | 0,5 | 3 | 0,4 | 1 | 0,5 | 1 |
| Par_v4_c30 | 0,5 | 4 | 0,5 | 1 | 0,6 | 2 | 0,5 | 3 | 0,5 | 4 |
| Par_v5_c30 | 0,5 | 4 | 0,5 | 1 | 0,5 | 3 | 0,5 | 4 | 0,5 | 4 |
| Lon_v3_c30 | 0,5 | 1 | 0,6 | 1 | 0,5 | 1 | 0,5 | 1 | 0,5 | 1 |
| Lon_v4_c30 | 0,6 | 1 | 0,5 | 2 | 0,6 | 1 | 0,6 | 2 | 0,5 | 1 |
| Lon_v5_c30 | 0,5 | 1 | 0,6 | 2 | 0,6 | 1 | 0,5 | 1 | 0,6 | 1 |

Tabela 3 – Métricas de compactação e cruzamento com trinta pontos.

| Instância | PATH_CHEAPEST_ARC | | SAVINGS | | LOCAL_CHEAPEST_ARC | | GUIDED_LOCAL_SEARCH | | TABU_SEARCH | |
|------------|-------------------|-------|-------------------|-------|--------------------|-------|---------------------|-------|-------------------|-------|
| | COMP ^a | CROSS | COMP ^a | CROSS | COMP ^a | CROSS | COMP ^a | CROSS | COMP ^a | CROSS |
| For_v3_c45 | 0,6 | 0 | 0,6 | 1 | 0,6 | 1 | 0,5 | 0 | 0,6 | 1 |
| For_v4_c45 | 0,5 | 3 | 0,5 | 2 | 0,5 | 0 | 0,5 | 3 | 0,6 | 2 |
| For_v5_c45 | 0,5 | 3 | 0,5 | 2 | 0,5 | 0 | 0,5 | 3 | 0,6 | 2 |
| Par_v3_c45 | 0,5 | 3 | 0,5 | 1 | 0,5 | 0 | 0,5 | 0 | 0,5 | 3 |
| Par_v4_c45 | 0,5 | 5 | 0,5 | 0 | 0,5 | 3 | 0,5 | 0 | 0,5 | 1 |
| Par_v5_c45 | 0,5 | 0 | 0,5 | 1 | 0,5 | 2 | 0,5 | 1 | 0,5 | 0 |
| Lon_v3_c45 | 0,5 | 1 | 0,5 | 0 | 0,5 | 0 | 0,5 | 1 | 0,5 | 1 |
| Lon_v4_c45 | 0,5 | 0 | 0,5 | 0 | 0,5 | 0 | 0,5 | 0 | 0,5 | 0 |
| Lon_v5_c45 | 0,5 | 1 | 0,5 | 0 | 0,5 | 0 | 0,5 | 0 | 0,5 | 0 |

Tabela 4 – Métricas de compactação e cruzamento com quarenta e cinco pontos.

trabalho utiliza em todas as suas instâncias endereços reais, tentando simular de forma bem próxima o cotidiano.

A Tabela 5 apresenta os resultados gerados da execução das instâncias dos endereços das lojas de uma conhecida rede de farmácias situadas em Fortaleza com todos os métodos utilizados para gerar os planos de rotas, com o objetivo de proporcionar a minimização das distâncias das rotas. Percebe-se que os resultados obtidos, desde a compactação e o número de cruzamentos em cada conjunto de rota são notáveis quando comparados os percursos do nosso dia a dia, e são bastante relevantes, afirmando assim que as rotas geradas estão de acordo com as características que compõem a atratividade visual. Comprovando e afirmando que a *OR-Tools* pode ser uma grande aliada na resolução de problemas de roteamento.

| Instância | PATH_CHEAPEST_ARC | | SAVINGS | | LOCAL_CHEAPEST_ARC | | GUIDED_LOCAL_SEARCH | | TABU_SEARCH | |
|------------|-------------------|-------|-------------------|-------|--------------------|-------|---------------------|-------|-------------------|-------|
| | COMP ^a | CROSS | COMP ^a | CROSS | COMP ^a | CROSS | COMP ^a | CROSS | COMP ^a | CROSS |
| Pag_v3_c32 | 0,4 | 5 | 0,4 | 4 | 0,4 | 5 | 0,4 | 4 | 0,4 | 5 |
| Pag_v4_c32 | 0,4 | 3 | 0,4 | 5 | 0,4 | 5 | 0,4 | 5 | 0,4 | 3 |
| Pag_v5_c32 | 0,5 | 4 | 0,5 | 5 | 0,4 | 5 | 0,5 | 4 | 0,5 | 4 |

Tabela 5 – Métricas de compactação e cruzamento com dados da Rede de Farmácias.

6 CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou uma metodologia para o desenvolvimento de planos de rotas, para que o decisor possa tomar soluções mais rápidas, visto que ele não precisará fazer rotas manuais, em que irá usar um sistema muito eficiente proveniente da *Google*. Esse fator, por sua vez, poderá impactar de forma positiva, podendo facilitar no aumento dos números de caso de testes para as rotas, viabilizando mais de uma possibilidade além de poder gerenciar a questão de colocar ou retirar mais clientes na rota, bem como simular o tempo. Tudo isso sendo possível pelo fato de estarmos tendo o auxílio de uma ferramenta tão poderosa como a *OR-Tools*.

No decurso do trabalho, foi encontrada uma dificuldade, essa mesma se referia à obtenção dos dados para geração dos resultados. Contudo, foi desenvolvida uma ferramenta auxiliar para a aquisição dos dados que serviram como instâncias, que foram utilizadas na *Or-Tools*.

Ao observarmos os resultados alcançados neste trabalho por meio de todos os experimentos e todas as execuções, podemos concluir que a utilização do *Google OR-Tools* pode ser um grande aliado na resolução de problemas da temática de problemas de roteamento de veículos. Podendo ser possível o emprego desta metodologia na resolução desses problemas.

Espera-se que esse trabalho sirva como base para o desenvolvimento futuro de novas abordagens na problemática de roteamento de veículos, facilitando as futuras pesquisas e gerando uma conclusão de que os custos de roteamento estão interligados diretamente à atratividade visual, mostrando assim, ser uma característica de grande relevância.

Como trabalhos futuros, pretende-se desenvolver um sistema que possa ser integrado com a *OR-Tools*, propondo o plano de roteamento para aquela determinada coordenada, apresentando assim resultados de rotas reais mais atrativas que podem ser utilizadas pelo setor logístico. Também pretende-se adicionar módulos para que possa tornar a usabilidade com uma melhor didática para com os usuários. Bem como difundir o sistema nas pesquisas que envolvem os problemas de roteamento e tornar o sistema cada vez mais robusto. Assim, abrangendo diversas ramificações da área de problemas de roteamento de veículos.

REFERÊNCIAS

- BITTENCOURT, G. C. de et al. Problema de roteamento de veículos capacitados (prvc): solução manual x busca dispersa. In: **Congresso Latino-Iberoamericano de Investigación Operativa–CLAIO. Simpósio Brasileiro de pesquisa Operacional–SBPO: Rio de Janeiro**. [S.l.: s.n.], 2012.
- BOSCH, A. **Seed selection in multi-period planning with time windows**. Dissertação (Mestrado) — University of Twente, 2014.
- CLARKE, G.; WRIGHT, J. W. Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. **Operations research**, *Inform*s, v. 12, n. 4, p. 568–581, 1964.
- DANTZIG, G.; RAMSER, J. The truck dispatching problem. *management science*..Nº 6: 80-91. 1959.

GEHRING, H.; HOMBERGER, J. A parallel hybrid evolutionary metaheuristic for the vehicle routing problem with time windows. In: CITESEER. **Proceedings of EUROGEN99**. [S.l.], 1999. v. 2, p. 57–64.

GRETTON, C.; KILBY, P. A study of shape penalties in vehicle routing. In: **VIII Triennial Symposium on Transportation Analysis. San Pedro de Atacama, Chile**. [S.l.: s.n.], 2013.

HOLLIS, B.; GREEN, P. Real-life vehicle routing with time windows for visual attractiveness and operational robustness. **Asia-Pacific Journal of Operational Research**, World Scientific, v. 29, n. 04, p. 1250017, 2012.

KILBY, P.; PROSSER, P.; SHAW, P. Guided local search for the vehicle routing problem with time windows. In: **Meta-heuristics**. [S.l.]: Springer, 1999. p. 473–486.

KILBY, P.; VERDEN, A. Flexible routing combining constraint programming, large neighbourhood search, and feature-based insertion. In: **Proceedings 2nd Workshop on Artificial Intelligence and Logistics (AILOG'11)**. [S.l.: s.n.], 2011. p. 43–49.

KRISTINA, S.; SIANTURI, R. D.; HUSNADI, R. Penerapan model capacitated vehicle routing problem (cvrp) menggunakan google or-tools untuk penentuan rute pengantaran obat pada perusahaan pedagang besar farmasi (pbf). **Jurnal Telematika**, v. 15, n. 2, p. 101–106, 2020.

LU, Q.; DESSOUKY, M. M. A new insertion-based construction heuristic for solving the pickup and delivery problem with time windows. **European Journal of Operational Research**, Elsevier, v. 175, n. 2, p. 672–687, 2006.

MATIS, P. Decision support system for solving the street routing problem. **Transport**, Taylor & Francis, v. 23, n. 3, p. 230–235, 2008.

MOURGAYA, M.; VANDERBECK, F. Column generation based heuristic for tactical planning in multi-period vehicle routing. **European Journal of Operational Research**, Elsevier, v. 183, n. 3, p. 1028–1041, 2007.

MUNGWATTANA, A.; SOONPRACHA, K.; JANSSENS, G. K. A real-world case study of a vehicle routing problem under uncertain demand. **International Journal for Traffic & Transport Engineering**, v. 9, n. 1, 2019.

PERRON, L.; FURNON, V. **OR-Tools**. 2019–7–19. Disponível em: <<https://developers.google.com/optimization/>>.

POOT, A.; KANT, G.; WAGELMANS, A. P. M. A savings based method for real-life vehicle routing problems. **Journal of the Operational Research Society**, Taylor & Francis, v. 53, n. 1, p. 57–68, 2002.

ROCHA, D. et al. Visual attractiveness in vehicle routing via bi-objective optimization. **Computers & Operations Research**, Elsevier, v. 137, p. 105507, 2022.

ROSSIT, D. G. et al. Visual attractiveness in routing problems: A review. **Computers & Operations Research**, Elsevier, v. 103, p. 13–34, 2019.

SOLOMON, M. M. Algorithms for the vehicle routing and scheduling problems with time window constraints. **Operations research**, Informs, v. 35, n. 2, p. 254–265, 1987.

TANG, H.; MILLER-HOOKS, E. Interactive heuristic for practical vehicle routing problem with solution shape constraints. **Transportation research record**, SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA, v. 1964, n. 1, p. 9–18, 2006.

TOTH, P.; VIGO, D. **The vehicle routing problem**. [S.l.]: SIAM, 2002.

TOTH, P.; VIGO, D. **Vehicle routing: problems, methods, and applications**. [S.l.]: SIAM, 2014.

ZHOU, C. et al. Solving the multi-vehicle pick-up and delivery problem with time windows by new construction heuristic. In: IEEE. **Sixth International Conference on Intelligent Systems Design and Applications**. [S.l.], 2006. v. 2, p. 1035–1042.