

PROBLEMA DE CLUSTERIZAÇÃO - LOCALIZAÇÃO COM ROTEIRIZAÇÃO DE ENTREGAS

**Enzo Morales Leitão, Marcelo Pereira Teixeira da Silva, Vitor Soares Silva,
Arnaldo Rabello de Aguiar Vallim Filho**

Faculdade de Computação e Informática – Universidade Presbiteriana Mackenzie
(UPM) – 01221-040 – São Paulo – SP – Brasil

enzo_moralesl@yahoo.com.br, {marcelopts151,
vitorssoaressilva}@gmail.com, arnaldo.vallim@mackenzie.br

***Abstract.** This article presents a Final Graduation Paper - TCC, which addresses the logistical problem of clustering – location – routing and aims to solve the problem through Artificial Intelligence (AI) techniques. With the development of experiments and the application of these techniques and algorithms, it was possible to reach a satisfactory solution for a test database. Among the techniques applied during the study are the K-means clustering algorithm (K-means) and its well-known “elbow” graph, the metaheuristic Artificial Bee Colony (ABC) and the Traveling Salesman problem (TSP) algorithm. The results demonstrated the effectiveness of the proposed modeling.*

Keywords: Machine Learning, metaheuristics, artificial intelligence, logistics

***Resumo.** Este artigo apresenta um Trabalho Conclusão de Curso de graduação - TCC, que aborda o problema logístico de clusterização – localização - roteirização (clustering – location – routing) e tem como objetivo resolver esse problema por meio de técnicas de Inteligência Artificial (IA). Com o desenvolvimento de experimentos e a aplicação dessas técnicas e algoritmos foi possível atingir uma solução satisfatória para uma base de dados de testes. Dentre as técnicas aplicadas durante o estudo estão o algoritmo de clusterização K-médias (K-means) e seu conhecido gráfico de “cotovelo”, a metaheurística Enxame de Abelhas (Artificial Bee Colony -ABC) e o algoritmo do Caixeiro Viajante (Traveling Salesman Problem – TSP). Os resultados demonstraram a efetividade da modelagem proposta.*

Palavras-Chave: Aprendizagem de Máquina, metaheurísticas, inteligência artificial, logística

1. Introdução

Nesta seção apresenta-se a visão geral do tema da pesquisa, o problema a ser solucionado e as hipóteses, o objetivo geral e os objetivos específicos a serem cumpridos, justificativa e a delimitação do estudo.

1.1 Contextualização e Relevância do Tema

Os problemas de logística que envolvem clusterização, localização e roteirização são comuns e consistem em um planejamento da empresa em distribuir pontos de entrega em locais estratégicos relacionados com a demanda da região e conjuntamente desenvolver

rotas estratégicas otimizadas, no sentido de que a entrega passe apenas uma vez por certo ponto, para uma economia monetária e temporal.

Hoje em dia a questão de distribuição de pontos de entrega para a facilitação e eficiência nas ações tomadas pelas empresas é um problema que vem sendo muito discutido e é de suma importância para o desenvolvimento das mesmas. Independente do poderio da empresa as decisões para superar esse empecilho podem determinar o futuro de muitas delas (Barreto et al., 2007).

O principal objetivo para se pensar ao solucionar problemas desse segmento é a questão de otimização da combinação das etapas envolvidas no processo, iniciada por três frentes, são elas: a delimitação da definição de rotas de atendimento em distritos, a localização e quantidade das instalações e as rotas para o atendimento em cada distrito. Sendo assim, existe um dilema para a solução que é como chegar a uma otimização combinatória dos itens citados acima.

É neste sentido, que surge este projeto, no qual o principal foco é determinar a quantidade e delimitação dos clusters, a quantidade e localização das instalações e as rotas para atendimento dos pontos de cada cluster. Sendo assim, este é um problema do tipo clustering – location – routing problem de otimização combinatória. O que se busca com esse projeto é a solução ótima desse problema por meio de aprendizado de máquina envolvendo metaheurísticas de otimização de problemas combinatórios.

1.2 Objeto de Pesquisa

Nesta subseção apresenta-se o problema de pesquisa e a hipótese que serão desenvolvidos durante o projeto.

1.2.1 Problema de Pesquisa

Este é um problema logístico que busca a definição de rotas de atendimento em distritos (clusters) de pontos de demanda (clientes) distribuídos geograficamente em uma região. As rotas têm origem em instalações (*facility*) estrategicamente localizadas no interior dos clusters. O número de instalações deve ser menor ou igual ao número de clusters. Os pontos de um cluster são atendidos por veículos que devem partir de uma *facility*, passar por todos os pontos daquele cluster e retornar ao ponto de origem (a *facility*). As dimensões dos clusters devem estar, portanto, vinculadas às capacidades de carga dos veículos. Considere-se ainda que cada *facility* deverá ser abastecida com carga, por fontes de abastecimento (fornecedores) com capacidade de atendimento definida.

O problema consiste em se determinar a quantidade e delimitação dos clusters, a quantidade e localização das instalações e as rotas para atendimento dos pontos de cada cluster. Este é assim um problema do tipo *clustering – location – routing*. Este é um problema de otimização combinatória.

O que se busca é a solução ótima desse problema por meio de aprendizado de máquina envolvendo metaheurísticas de otimização de problemas combinatórios.

Desta forma, poderia ser definida a seguinte pergunta de pesquisa:

“Como poderiam ser utilizadas técnicas de Inteligência Artificial, envolvendo metaheurísticas de otimização, para a solução de um problema do tipo clustering – location – routing?”.

E complementarmente, poder-se-ia buscar a resposta para a seguinte questão:

“*Como poderia ser implementada uma solução de visualização gráfica da solução ótima que seria encontrada para o problema acima?*”.

1.2.2 Hipótese

Como hipótese básica deste estudo, considera-se que a definição da solução ótima do problema, será estabelecida em função dos seguintes fatores:

- a) Distribuição geográfica dos pontos de demanda na região de estudo;
- b) Magnitude da demanda em cada ponto;
- c) Os limites de cada cluster devem estar condicionados a uma capacidade padrão dos veículos e a uma quantidade mínima de pontos por cluster;
- d) O custo envolvido na operação deverá direcionar a solução ótima, de forma que seja aquela de menor custo global da operação;
- e) Os principais componentes de custo que devem direcionar a solução ótima seriam: custo do produto ofertado em cada fonte de abastecimento, capacidade de estoque em cada fonte de abastecimento, custo do transporte entre fonte de abastecimento e *facility*, custo do transporte entre *facility* e ponto de demanda e custo do local em que será instalada a *facility* (custo da terra).

1.3 Objetivos do Estudo

Nesta subseção apresenta-se o objetivo geral e os objetivos específicos do projeto.

1.3.1 Objetivos do Estudo

O objetivo geral deste TCC é resolver o problema combinado de clusterização – localização e roteirização (*clustering – location – routing*) por meio de técnicas de Inteligência Artificial (IA). Busca-se o desenvolvimento de experimentos em diferentes instâncias do problema com a aplicação das técnicas.

1.3.2 Objetivos Específicos

No que diz respeito aos objetivos específicos, o estudo deverá contemplar:

- a) Analisar e definir as técnicas de Inteligência Artificial (IA) mais adequadas à solução do problema em estudo;
- b) Analisar e definir as ferramentas tecnológicas mais adequadas para utilização no estudo;
- c) Ajustar e terminar algoritmos de IA aplicados à solução do problema;
- d) Desenvolver experimentos com diferentes bases de dados;
- e) Apresentar os resultados obtidos por meio de técnicas de visualização.

1.4 Justificativa

Como apresentado acima, existem problemas de clusterização, localização e roteirização possíveis de serem resolvidos por meio de técnicas de inteligência artificial. Esses problemas afetam o setor econômico de diversas empresas e serviços de transporte, já que

esses sistemas, se não bem desenvolvidos, consomem muita energia e tempo de um setor/área que sempre procura por rotas mais eficientes para a realização de entregas.

Tendo muitos gastos em logística de transporte, conseguimos entender o interesse no desenvolvimento de maneiras, métodos e algoritmos que tragam soluções para essa busca de como reduzir custos.

Conjuntamente a análise do meio prático, o meio científico proporciona desafios relevantes. Pela demanda atual dos problemas citados, esforços pela busca de algoritmos mais eficazes e eficientes surgem cada vez mais, ampliando o conhecimento sobre o assunto e criando novos modelos que tragam um alto desempenho.

1.5 Delimitação do Estudo

Em termos de delimitação, este estudo irá se concentrar em uma única operação logística que poderá estar associada a uma organização específica.

Sobre a delimitação Geográfica, o estudo irá focar em uma dada região associada aos dados levantados.

E no que se refere à delimitação Temporal, os dados levantados estarão associados a um período específico.

2. Referencial Teórico

Nesta seção é apresentada uma visão teórica do tema do projeto a partir da revisão de trabalhos científicos que auxiliaram para entendimento do problema e as respectivas técnicas para buscar sua solução.

Os problemas de logística que envolvem clusterização, localização e roteirização são estudados há tempos e com a evolução das tecnologias e o desenvolvimento de novos métodos as diferentes formas para se alcançar a solução ótima vem se tornando cada vez mais sofisticadas, já que problemas desse tipo envolvem questões que vão muito além de uma simples entrega, uma simples escolha pode ser determinante para o futuro de empresas. Para Laporte et al. (2000) esses problemas consistem em definir diferentes rotas para o transporte que minimizem o custo dessa operação, sendo que cada um desses veículos deve iniciar em um depósito e terminar no mesmo, passando por todos os pontos de abastecimento exatamente uma vez e que esse transporte não supere a capacidade suportada pelo veículo.

O problema pioneiro para o estudo de casos, como o em estudo, foi o do Caixeiro Viajante (Cunha, 1997). O problema foi definido por Matali et al. (2010) como a partir de um conjunto de cidades e o custo da viagem entre cada par de cidade possível, o caixeiro viajante tem como objetivo encontrar a melhor maneira possível de visitar todas as cidades e voltar ao ponto de partida.

Existem vários trabalhos sobre aplicação de diferentes algoritmos e metaheurísticas para problemas que envolvem clusterização, localização e roteirização.

Hussain et al. (2020) definem o algoritmo metaheurístico Artificial Bee Colony (ABC) como um algoritmo baseado em como as abelhas trabalham juntas para coletar o néctar. Objetivo é encontrar as flores com mais néctar (solução ótima), as abelhas são divididas em três grupos: abelhas escoteiras, abelhas observadoras e abelhas empregadas.

O algoritmo usa o conceito de memória e “salva” o melhor local visitado, sendo assim as abelhas devem seguir esse norte para chegar à melhor solução.

Fontana e Naldi (2009) definem o K-means como uma técnica que utiliza um algoritmo de agrupamento de dados utilizando o conceito de centroides como centro de um grupo sendo calculado a partir da média de todos os pontos do grupo. O algoritmo segue uma ordem de execução, primeiro são atribuídos valores iniciais seguindo algum propósito definido no estudo, após isso os objetos são caracterizados aos seus respectivos grupos e por fim os valores de centroides são recalculados e esses últimos dois passos são repetidos até que os dados se estabilizem e os grupos estejam definidos.

Reebello (2009) apresenta um problema de recolhimento de correspondência em 56 agências dos Correios na Zona Sul do Rio de Janeiro, o objetivo é distribuir os veículos para cada agência e encontrar as menores rotas para esse trajeto respeitando o horário de serviço e a capacidade de cada veículo. O problema acima é chamado genericamente de “Problema de Roteamento e Programação de Veículos (PRPV)”.

Para o desenvolvimento da solução utiliza-se a metaheurística do Algoritmo Genético (AG) e a metodologia “Zonear-Primeiro-Rotear-Depois”, utiliza-se o AG para a divisão das agências em clusters e a aptidão é a soma das distâncias de cada cluster e um outro AG roteia os elementos do cluster.

Logo, conclui-se que a alternância das técnicas de zoneamento e roteamento são promissoras e buscam sempre o objetivo principal que é minimizar o comprimento da rota (Reebello, 2009).

Barreto et al. (2007) apresentam o problema de roteamento e localização com dois níveis: um conjunto de centros de distribuição e um outro centro de clientes solicitantes. A solução desenvolvida busca determinar esses conjuntos de centro de distribuição e as rotas dos mesmos, sendo que deve-se iniciar em um centro e finalizar em um centro. Como o objetivo geral é diminuir os custos de transporte e localização, existe também uma limitação de capacidade dos veículos, sendo que cada veículo transporta um produto e cada cliente é visitado apenas uma vez.

As técnicas utilizadas para solução do problema envolvem um algoritmo heurístico sequencial, diversos testes foram realizados a fim de escolher a técnica mais adequada. Apesar de problemas desse tipo serem complexos, foi concluído que a abordagem heurística é uma maneira promissora de encontrar boas soluções para problemas de médio e grande porte.

Belfiore et al. (2006) apresentam soluções já existentes na literatura para o Problema de Roteirização de Veículos com Entregas Fracionadas e suas variações como Problema de Roteirização de Veículos com Janelas de Tempo e Entregas Fracionadas e o Problema de Roteirização de Veículos com Demanda em Arcos, Janelas de Tempo e Entregas Fracionadas. O problema em geral consiste em a partir de um centro de distribuição que atende N clientes por dia e com uma frota limitada e com capacidade, os clientes atendidos possuem restrições de janelas de tempo e os veículos devem sair e retornar aos centros de distribuição. Para o desenvolvimento da solução do problema, foram usados métodos exatos, métodos heurísticos e busca tabu, adequando-os para cada extensão.

Apesar da complexidade dos problemas desse tipo, foi concluído que as implementações metaheurísticas (como a Busca Tabu) trazem um bom resultado. Daskin

(2008) apresenta uma visão geral de taxonomia com ênfase em localização discreta de problemas a serem resolvidos na categoria de modelos de localização de instalações em setores público e privado.

Esses problemas citados acima são considerados primordiais para o desenvolvimento de técnicas inovadoras para a solução.

Após demonstrar as áreas de estudo, desenvolveu-se cinco modelos de localização discreta, são eles: o modelo de cobertura do conjunto, o modelo de cobertura máxima, o modelo de p-mediana, o problema de localização de carga fixa não capacitada e o p - problema no centro. Em uma comparação com os problemas apenas de roteamento de veículos, os problemas de localização podem ser resolvidos de forma precisa e eficiente mesmo com complexidade alta, já os de veículos apenas em problemas com complexidade relativamente baixa (Daskin, 2008).

Laporte (2009) traz uma visão geral da evolução das soluções para o Problema de Roteamento de Veículos (VRP), que segundo o artigo, foi introduzido 50 anos atrás por Dantzig e Ramser com o título “O Problema de Despacho de Caminhões”. Com o estudo desse problema originou-se diversas técnicas com relação a algoritmos exatos e heurísticas e mais recente metaheurísticas e matemática exata mais sofisticada.

Um exemplo dessa evolução retratada no artigo é a questão da solução que de um simples “*branch-and-bound*” tornou-se uma solução envolvendo conceitos de matemáticas altamente sofisticados.

Logo, ele conclui, problemas como esse são cada vez mais procurados para o estudo e o desenvolvimento de heurísticas para a solução dos mesmos além de novos desafios para a solução de algoritmos mais simples e flexíveis, porém menos precisos.

Salama e Srinivas (2020) trazem uma visão real do problema mais atualizado, devido o aumento de pedidos e expectativa de entregas dos consumidores as empresas estão buscando inovar nas entregas para os consumidores, o método que é discutido durante o artigo é a utilização de drones para otimizar as entregas. A utilização dos drones não impede a discussão que problemas desse tipo em geral tem que são: particionamento dos locais de entrega em clusters e um centróide para cada um deles, direcionar o caminhão para todos esses centros de forma que todos os clientes presentes em cada cluster possam ser atendidos pelo drone ou pelo caminhão. Logo o estudo é realizado com o objetivo de investigar os impactos da restrição dos clusters e a utilização de um método de otimização conjunta e não algo sequencial.

Lei et al. (2021) discutem o mesmo problema de entregas utilizando drones, porém, buscam a solução a partir da metaheurística Artificial Bee Colony (ABC) dinâmica. O modelo de entregas é importante e otimizado pois combina a capacidade (em espaço) do caminhão e a velocidade dos drones, o objetivo da utilização da metaheurística é minimizar o custo operacional. Diversos experimentos foram realizados, utilizando-se principalmente as abelhas observadoras e empregadas, e foi concluído que o ABC dinâmico fornece bons resultados para o estudo em questão.

Nadizadeh et al. (2011) trazem um algoritmo para a solução do problema de localização, o problema se trata de uma seleção da localização dos depósitos e da definição de cada cliente para um depósito em específico a partir da sua localização, sendo que os depósitos e veículos possuem capacidades pré-definidas. O algoritmo proposto possui quatro etapas, são elas: agrupar clientes a partir do algoritmo de busca, selecionar

a localização apropriada para o depósito, alocar os cluster e depósitos e por fim definir as rotas entre depósitos e clientes. O artigo conclui a partir dos experimentos realizados que a utilização desse algoritmo é eficiente para solucionar o problema.

Schneider e Drexler (2017) trazem uma visão geral do problema de localização, tomando como base literaturas mais antigas que já trataram do problema. A partir de discussões de desenvolvimento e comparações numéricas o problema é definido como um problema de roteamento de localização determinístico, discreto, com objetivo único, em que cada cliente deve ser visitado apenas uma vez para a entrega vindo de apenas uma instalação.

A partir deste levantamento bibliográfico é possível perceber que existem diversos estudos voltados ao tema do projeto em questão. Logo, o presente projeto tem como objetivo seguir a mesma linha de pensamento para poder contribuir com conhecimento na área de estudo.

3. Metodologia da Pesquisa

A natureza desta pesquisa é do tipo Aplicada, pois trabalha com um problema prático. A abordagem é quantitativa, pois irá trabalhar com modelos de IA e sua finalidade é metodológica, já que o objetivo é desenvolver e implementar uma aplicação em computador, que poderá ser utilizada para fins práticos em problemas do mundo real, sendo, assim, uma pesquisa propositiva.

Os meios a utilizar na pesquisa, serão: uma revisão bibliográfica e utilização de bases de dados públicas, bem como, ferramentas tecnológicas *open source*.

A metodologia será desenvolvida segundo as etapas abaixo:

- a) Revisão Bibliográfica
- b) Levantamento de Bases de Dados
- c) Análise e Definição das Técnicas a utilizar
- d) Desenvolvimento dos algoritmos
- e) Desenvolvimento de Experimentos
- f) Análise de Resultados
- g) Documentação do Estudo
 - g₁) Pôster com resultados preliminares
 - g₂) Artigo Final

4. Modelagem e Resultados

Para o desenvolvimento do projeto em questão, utilizou-se uma base de dados em formato csv com 110 pontos que para o estudo são considerados as instalações (*facilities*) e seus pontos de demanda. É uma base de *benchmarking*, usada para testes. Não são dados reais, mas espelham a realidade, por isso foi e pode ser usada como *benchmarking* para comparar a eficiência dos algoritmos. Como forma de manuseio e análise dos dados e técnicas de solução o projeto utilizou o ambiente do RStudio que é um software livre para desenvolvimento em linguagem R e conseqüentemente, a linguagem R e suas bibliotecas. Dentre as bibliotecas utilizadas para o desenvolvimento da solução encontram-se

metaheuristicOpt, TSP, TSdist, além de bibliotecas para a demonstração dos resultados que são ggplot2, vip e grid (Projeto Cran).

Com a utilização e combinação dos recursos citados anteriormente foi possível determinar a quantidade e delimitação dos clusters, a quantidade e localização das instalações e as rotas para atendimento dos pontos de cada cluster, para base de dados testada. A figura 1 a seguir demonstra a distribuição geográfica dos pontos da base em estudo.

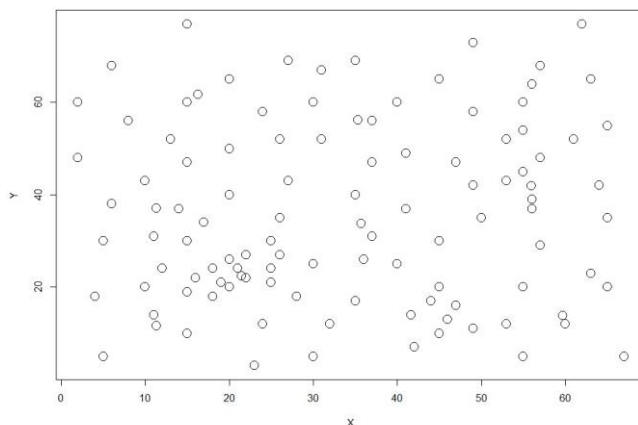


Figura 1. Distribuição geográfica dos pontos da base em estudo.

4.1 Análise e Definição das Técnicas

Durante o desenvolvimento do projeto utilizou-se diversas técnicas para a solução do problema sendo que cada uma atinge a um ponto específico do problema em estudo.

Em termos de técnica de clusterização, foi utilizado o algoritmo de K-means, com a implementação de seu gráfico de “cotovelo”, que permite a determinação do valor “ideal” de k , já descrito brevemente na seção 2. De forma um pouco mais detalhada, segue uma descrição do algoritmo: “*escolhe-se aleatoriamente os k centroides, calcula-se a distância de cada exemplar x do conjunto de dados com cada k centroide, atribui-se cada elemento ao centroide mais próximo e recalcula-se o centroide de cada grupo até atingir a estabilidade*”.

O gráfico de cotovelo mostra o nível de heterogeneidade dentro dos clusters comparado com o valor de K . Esse nível de heterogeneidade é medido pelas diferenças ao quadrado entre os objetos dos clusters e seus centroides (*WSS – Within Square Sum*). À medida que K cresce, *WSS* diminui. Mas. A partir de um certo valor de K , a redução em *WSS* passa a ser muito pequena (quando ocorre o cotovelo). Este é considerado o valor ideal de K .

Para a solucionar o problema de roteirização utilizou-se a metaheurística ABC e uma função com objetivo de minimização de custos, para a definição dos locais de instalações (*facilities*) e para alocação dos pontos de demanda que serão atendidos por cada instalação, e, por fim, as rotas são definidas com a utilização do algoritmo do caixeiro viajante (TSP) e esse passo define a fase de roteirização.

Um resumo geral do algoritmo desenvolvido para a solução do problema é descrito na figura 2 a seguir.



Figura 2. Fluxo geral dos algoritmos propostos para solução do problema.

4.1.1 Clusterização

Para a execução do K-means, de forma a gerar clusters de pontos de demanda, foi necessário definir um valor ideal para o número de clusters que seriam gerados com a execução do algoritmo. Essa definição foi feita utilizando o método de cotovelo que a partir do gráfico gerado pela função é possível identificar -se qual o melhor valor para a base de dados fornecida como entrada (110 pontos). Como mostra a figura 3 a seguir é possível perceber que o gráfico começa a ter variância dos dados a partir do número de clusters insignificantes no valor 10 do eixo x, sendo assim o valor definido para a quantidade de clusters.

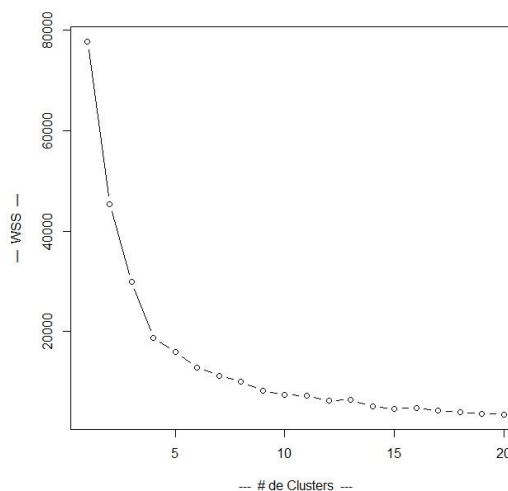


Figura 3. Análise do número “ideal” de clusters a partir do gráfico de cotovelo

Após a definição do número ideal de clusters foi-se em busca da definição dos clusters, por meio do algoritmo do K-means. Com as figuras 4 e 5 a seguir, é possível se identificar os diferentes clusters (cada cor um cluster) e os centroides definidos após o agrupamento gerado pelo K-means.

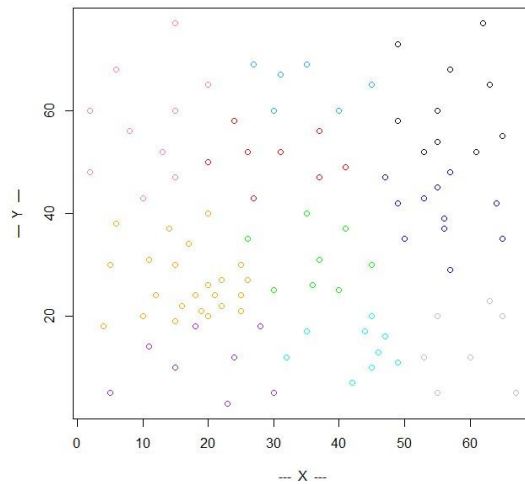


Figura 4. Clusters definidos pelo algoritmo K-means

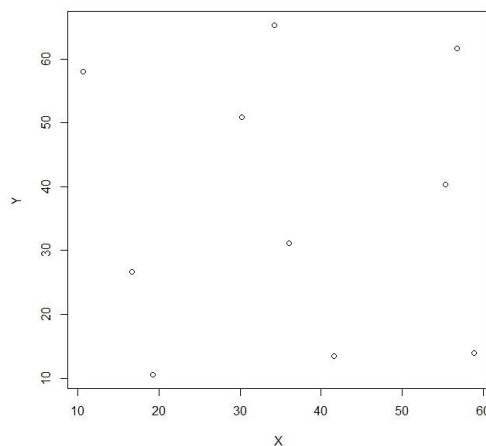


Figura 5. Centroides definidos pelo algoritmo K-means

4.1.2 Localização

A partir dos centroides dos clusters gerados no K-means, que são os locais candidatos a instalações, é definido o vetor de entrada para a função ABC, o vetor é composto pelos pontos de demanda de uma região e os números das instalações que atendem esses pontos (centroides), sendo assim é considerado um Vetor com "n + m" posições, tendo como conteúdo das suas posições uma distribuição aleatória de valores inteiros entre 1 e "n+m", define-se que: os pontos alocados a uma Instalação (uma rota), são aqueles que estão no Vetor entre a posição em que está o número dessa Instalação e a posição em que aparece o número da próxima Instalação.

Após a execução da função ABC a função objetivo recebe um vetor "x" rearranjado, gerado pela metaheurística ABC, e traduz esse vetor em um conjunto de Rotas, logo a função objetivo é aplicada e retorna para a metaheurística ABC o valor calculado. O valor calculado pela função objetivo é distância total percorrida durante todo o percurso, isso é feito a partir de diversas iterações e ao final é retornado a menor

distância entre os pontos para a base em estudo, sendo considerada como “solução ótima”. A figura 6 a seguir mostra o fluxo geral de execução da função objetivo.

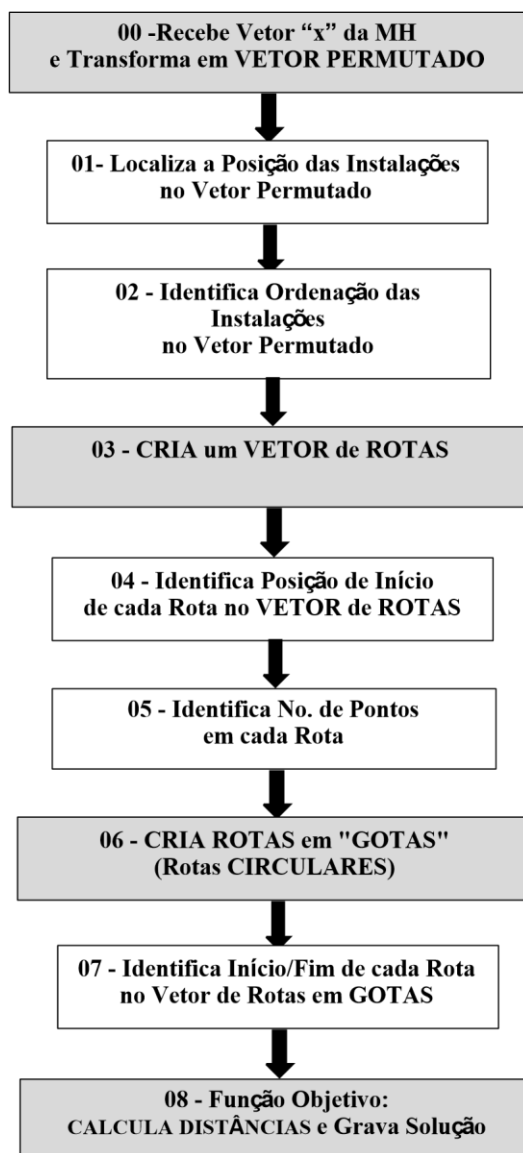


Figura 6. Fluxo geral de execução da função objetivo

4.1.3 Roteirização

Com a solução ótima resultante da função objetivo, executou-se o algoritmo do caixeiro viajante (TSP) para definir as rotas finais de cada cluster começando em cada instalação e retornando para a mesma. O algoritmo TSP busca solucionar o problema de determinar a menor rota entre uma série de pontos e voltar para o mesmo passando apenas uma única vez por cada ponto, sendo assim, para o problema em questão o objetivo de utilização foi encontrar a menor (consequentemente a melhor) rota, ou seja, a que tenha a menor distância total entre as instalações (centroídes) e os pontos de demanda.

A tabela 1 a seguir demonstra os valores encontrados na solução ótima, sendo: a quantidade de pontos por cluster, a distância por cluster e os valores globais da operação.

Tabela 1. Distâncias Totais por Cluster e Distância Global da Operação

	cluster 1	cluster 2	cluster 3	cluster 4	cluster 5	cluster 6	cluster 7	cluster 8	total
Qtde de Pontos por Cluster	14	20	16	10	15	11	12	10	108
Distância por Cluster	114,6488	130,7325	87,4098	89,83661	104,192	97,88099	104,4639	91,43305	820,5976

A figura 7 a seguir demonstra as melhores rotas encontradas a partir da execução do algoritmo.

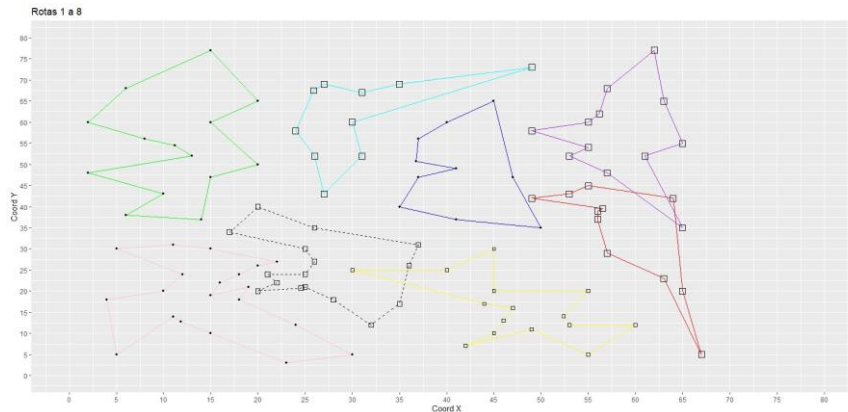


Figura 7. Rotas finais geradas pelo TSP

5. Conclusão

O presente estudo mostrou que a partir da utilização das técnicas de K-means, metaheurística Artificial Bee Colony (ABC) e do algoritmo do caixeiro viajante é possível se buscar uma “solução ótima” para o problema em questão.

Com os resultados obtidos foi possível perceber que a utilização do K-means combinado com a metaheurística ABC, com uma função que garante o objetivo de minimização de custos, e o algoritmo de caixeiro-viajante são eficientes para solucionar o problema, ou seja, determina-se de forma clara e objetiva os pontos de distribuição e suas melhores rotas para os dados em estudo. Toda a metodologia mostrou-se ser consistente e passível de aplicação para outros dados.

Considerando-se algumas potencialidades do estudo, vale destacar que o algoritmo desenvolvido é capaz de solucionar o mesmo problema a partir de outros parâmetros desejados e de outras bases de dados.

Como sugestão de continuidade do estudo pode-se pensar em diversas possibilidades, dentre elas estão desenvolver um experimento maior com várias bases de dados e verificar o desempenho do algoritmo, bem como testar outros algoritmos de clusterização no lugar do K-means e experimentar outras metaheurísticas no lugar do ABC para validar se outros métodos alcançam ou superam os resultados do presente estudo.

Referências

CUNHA, C.B(2000). Aspectos Práticos da Aplicação de Modelos de Roteirização de Veículos a Problemas Reais. Departamento de Engenharia de Transportes. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/>>

- publication/267859893_Aspectos_praticos_da_aplicacao_de_modelos_de_roteirizacao_de_veiculos_a_problemas_reais>. Acesso em: 11 de Mai de 2021.
- LAPORTE, G(2009). Fifty Years of Vehicle Routing: em *Transportation Science*, v.43, n.4, pp. 408–416. Disponível em: <<https://pubsonline.informs.org/doi/10.1287/trsc.1090.0301> >. Acesso em: 11 de Mai de 2021.
- REEBELLO, F.R. (2009). Zoneamento e Roteamento de Veículos da Coleta de Correspondência dos Correios Usando Algoritmos Genéticos. Departamento de Engenharia de Transportes. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. *Revista ICA*, n.2. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/15095309-Zoneamento-e-roteamento-dedepositos-auxiliares-dos-correios-usando-algoritmos-geneticos.html>>. Acesso em: 11 de Mai de 2021.
- DASKIN, M. S(2008). What You Should Know About Location Modeling: em *Wiley InterScience*. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2455219/mod_resource/content/1/Daskin_Location_Modeling.pdf>. Acesso em: 12 de Mai de 2021.
- BELFIORE, P.P; FÁVERO, L.P.L(2006). Problema de roteirização de veículos com entregas fracionadas: revisão da literatura. XIII SIMPEP, Bauru, SP. Disponível em: <https://simpep.feb.unesp.br/anais/anais_13/artigos/675.pdf>. Acesso em: 12 de Mai de 2021.
- BARRETO, S; FERREIRA, C; PAIXÃO, J; SANTOS, B.S(2007). Using clustering analysis in a capacitated location-routing problem. *European Journal of Operational Research*. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377221706000786>>. Acesso em: 12 de Mai de 2021.
- LAPORTE, G.; GENDREAU, M; POTVIN, J.Y; SEMET, F.(2000). Classical and modern heuristics for the vehicle routing problem, *International Transactions in Operational Research*, v.7, n4/5, p.285-300. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/227724716_Classical_heuristics_for_the_vehicle_routing_problem>. Acesso em: 12 de Jun de 2021.
- MATAI, R; SINGH, S; MITTAL, M.L. Traveling Salesman Problem: An Overview of Applications, Formulations, and Solution Approaches. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/221909777_Traveling_Salesman_Problem_an_Overview_of_Applications_Formulations_and_Solution_Approaches>. Acesso em: 12 de Jun de 2021.
- HUSSAIN, K; SALLEH, M.N.M; CHENG, S; SHI, Y; NASEEM, R. (2020). *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, Volume 32, Issue 7, Pages 794-808. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1319157818302039>>. Acesso em: 12 de Jun de 2021.
- FONTANA, A; NALDI, M.C (2009). Estudo de Comparação de Métodos para Estimação de Números de Grupos em Problemas de Agrupamento de Dados. Universidade de São Paulo. ISSN - 0103-2569. Disponível em:<<http://repositorio.icmc.usp.br/handle/RIICMC/6697>>. Acesso em: 15 de Jun de 2021.

- DREXL, M; SCHNEIDER, M. (2017). A survey of the standard location-routing problem. *Annals of Operations Research*. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/317208191_A_survey_of_the_standard_location-routing_problem>. Acesso em: 17 de Ago de 2021.
- NADIZADEH, A; SAHRAEIAN, R; ZADEH, A.S; HOMAYOUNI, S.M. (2011). Using greedy clustering method to solve capacitated location-routing problem. *African Journal of Business Management*. Disponível em: <<https://academicjournals.org/journal/AJBM/article-full-text-pdf/161B19618982>>. Acesso em: 17 de Ago de 2021.
- SALAMA, M; SRINIVAS, S.(2020).Joint optimization of customer location clustering and drone-based routing for last-mile deliveries. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* - volume 114. Disponível em : <https://www.researchgate.net/publication/339775510_Joint_optimization_of_customer_location_clustering_and_drone-based_routing_for_last-mile_deliveries>. Acesso em: 17 de Ago de 2021.
- LEI, D; CUI, Z; LI, M. (2021). A dynamical artificial bee colony for vehicle routing problem with drones. *Engineering Applications of Artificial Intelligence* - volume 107. Disponível em:<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0952197621003584>>. Acesso em 12 de Set de 2021.
- PROJECT R CRAN. The Comprehensive R Archive Network. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/>>. Acesso em: 20 de Mai de 2021.