



ConBRepro

XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

I CIGELUBRA

Congresso Internacional de Gestão e Engenharia Luso-Brasileiro

04 a 06 de dezembro de 2024

Energias Limpas nas Engenharias

MODELAGEM DA LOCALIZAÇÃO DE MÁXIMA COBERTURA DE CENTROS DE DISTRIBUIÇÃO DE ITENS HUMANITÁRIOS NO ESTADO DE SANTA CATARINA

Igor Shoiti Fujisawa

Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas - UFSC

Ricardo Villarroel Dávalos

Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas - UFSC

Resumo: Santa Catarina é um dos estados do Brasil, coberto por várias bacias hidrográficas e muitos de seus municípios foram fundados às margens dos rios, sendo por isto, cenário de alagamentos, enchentes, inundações bruscas e graduais, escorregamentos, estiagens, vendavais, tornados, nevoeiros e ressacas. Neste contexto, este artigo tem como principal objetivo aplicar modelos de Localização de Máxima Cobertura para determinar a localização otimizada dos centros de distribuição de itens de primeira necessidade a partir das ocorrências de desastres naturais nas microrregiões do estado. Esta modelagem focará a minimização da distância a ser percorrida e o histórico de ocorrências de desastres no estado. A principal contribuição consiste em apoiar as decisões da Defesa Civil de Santa Catarina a partir de uma ferramenta computacional que considera de forma integrada, a localização e a representação cartográfica dos centros de distribuição.

Palavras-chave: Logística Humanitária, Desastres naturais, P-mediana, Pesquisa Operacional, Localização de Máxima Cobertura

Modeling the Maximum Coverage Location of Humanitarian Aid Distribution Centers in the State of Santa Catarina

Abstract: Santa Catarina is one of the states in Brazil, covered by various river basins, and many of its municipalities were founded on the banks of rivers. As a result, they are prone to floods, flash floods, gradual inundations, landslides, droughts, gales, tornadoes, fogs, and sea surges. In this context, the main objective of this article is to apply Maximum Coverage Location models to determine the optimized location of distribution centers for essential items based on natural disaster occurrences in the state's microregions. This modeling will focus on minimizing the distance to be traveled and the historical occurrences of disasters in the state. The main contribution is to support the decisions of Santa Catarina's Civil Defense through a computational tool that integrates the location and cartographic representation of distribution centers.

Keywords: Humanitarian Logistics, Natural Disasters, P-median, Operational Research, Maximum Coverage Location

1. Introdução

Os desastres naturais têm se tornado cada vez mais frequentes e devastadores, impactando significativamente as populações ao redor do mundo. No Brasil, o número de ocorrências e os gastos públicos com desastres socioambientais aumentaram consideravelmente nas últimas décadas. Em Santa Catarina, eventos como as chuvas intensas de 2008, que resultaram em inundações e deslizamentos de terra, afetaram 38 municípios e causaram 106 óbitos imediatos. Esses eventos ressaltam a necessidade de uma logística humanitária eficiente para mitigar os impactos e fornecer assistência rápida e eficaz às comunidades afetadas (CEMADEM, 2024).

O número de desastres naturais no Brasil vem na atualidade sofrendo um aumento, e o estado de Santa Catarina, por sua vez, registrou 12,2% de todos os desastres naturais ocorridos, sendo o terceiro no ranking nacional. A Logística Humanitária (LH) assume um papel imprescindível na mitigação das perdas humanas e materiais, visando proporcionar um atendimento rápido e eficiente às áreas atingidas (INMET, 2024).

A LH desempenha um papel crucial na entrega de suprimentos vitais, como alimentos, água, medicamentos e abrigo, em situações de emergência. Em Santa Catarina, a Defesa Civil tem se destacado na gestão de desastres, implementando estratégias para melhorar a resposta e a resiliência das comunidades. No entanto, a localização estratégica dos centros de distribuição é fundamental para maximizar a cobertura e a eficiência das operações de socorro.

O Problema de Localização de Máxima Cobertura tornou-se a abordagem preferida para lidar com a LH em situações de emergência. Para lidar com esse desafio, diversos algoritmos exatos e heurísticos foram combinados como abordagem principal para resolver este problema.

Este artigo apresenta um modelo do problema de localização de máxima cobertura para apoiar a instalação de centros de distribuição da Defesa Civil de Santa Catarina em situações de desastre. A pesquisa foi realizada com o auxílio de literaturas especializadas em desastres naturais, logística humanitária e gestão de desastres no Brasil e em Santa Catarina. A programação do modelo foi desenvolvida utilizando a linguagem Python, permitindo a análise e a otimização das localizações dos centros de distribuição para garantir a máxima cobertura e eficiência no atendimento às populações afetadas. Também foi implementado de forma integrada, a localização e a representação cartográfica dos centros de distribuição.

2. Referencial teórico.

Esta seção apresenta as principais fontes, obras e referências consultadas relacionadas ao tema da pesquisa.

2.1. Logística Humanitária

A LH é definida por Lima (2014) como sendo o processo de planejar, implementar e controlar de forma eficiente o fluxo e o armazenamento de bens, materiais e informações do ponto de origem até o ponto de consumo, objetivando aliviar o sofrimento de pessoas em situações de vulnerabilidade. Foca no transporte de insumos e pessoas à locais afetados por desastres da forma mais eficaz e veloz possível.

E apesar do conceito de logística se afiliar muito nas áreas de administração e engenharia, a pesquisa da LH vai além, abrangendo áreas humanas, como a política, o meio ambiente e o social, aplicando-as nos modelos matemáticos logísticos já existentes. Também, destaca-se a necessidade dessa logística de evitar falta e desperdício de estoque, e ainda se desdobrar para atuar com um orçamento limitado (DA SILVA, 2015).

2.2. Método das p-medianas

O Problema das p-Mediana é um problema clássico de localização e consiste em localizar p facilidades (medianas) em uma rede, de modo a minimizar a soma das distâncias de cada nó de demanda à sua mediana mais próxima. A seguir este modelo é representado a seguir (BOONMEE; ARIMURA; ASADA, 2017).

$$\text{Min } Z = \sum_{i \in N} \sum_{j \in n} w_i d_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

Sujeito a:

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

$$\sum_{j \in N} x_{jj} = p$$

$$x_{ij} \leq x_{jj}$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}$$

Sendo que:

i = centros consumidores a serem atendidos;

j = possibilidade de localização dos centros de distribuição;

x_{ij} = representa o centro consumidor i que é atendido pelo centro de distribuição j ;

w_i = pesos (importâncias) dos centros consumidores;

d_{ij} = distância do centro consumidor i ao centro de distribuição j ;

p = número de facilidades (medianas) a serem instaladas.

A função objetivo (1) representa a minimização das distâncias ponderadas (multiplicação do peso w_i pelas distâncias d_{ij} entre consumidores e distribuidores). Já as restrições (2) garantem que cada consumidor seja alocado a somente um centro de distribuição; a quantidade de centros de distribuição a serem instalados; que cada centro consumidor seja alocado apenas aos nós escolhidos como medianas e, por fim, que a variável seja binária, assumindo valor de “1” caso o centro de distribuição j atenda o centro consumidor i ou 0, caso contrário (PIZZOLATO; RAUPP; ALZAMORA, 2012).

Como não há alterações na estrutura original do modelo de p-medianas, as rotinas desenvolvidas para resolver este problema podem ser aplicadas ao novo conjunto de dados e obter soluções para outros problemas de localização, como por exemplo, o Problema de Localização de Máxima Cobertura (PLMC).

2.3. Problema de localização de máxima cobertura

O PLMC consiste em determinar a localização de p facilidades em uma rede, de forma a atender (ou cobrir) a maior parcela de uma determinada população, dada uma distância de serviço. Os vértices da rede que estiverem a uma distância menor ou igual à distância de serviço em relação a algum vértice escolhido para a instalação de uma facilidade são classificados como cobertos, e a população ou demanda associada a esse vértice é considerada atendida (LI; RAMSHANI; HUANG, 2018).

2.4. Python

De acordo com Matthes (2019), “Python é uma linguagem de programação importante e fácil de aprender. Sua sintaxe clara e intuitiva permite que os desenvolvedores se concentrem na resolução de problemas, em vez de se preocuparem com a complexidade da linguagem”.

Uma das maiores vantagens do Python é ser uma linguagem de código aberto e gratuita, o que significa que qualquer pessoa pode usá-la e contribuir para seu desenvolvimento. Isso promove uma comunidade ativa e colaborativa.

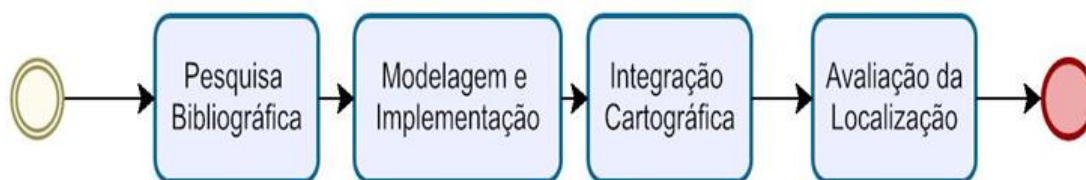
O Python é amplamente utilizado em diversas áreas, desde desenvolvimento web até ciência de dados, devido à sua simplicidade e à vasta quantidade de bibliotecas disponíveis. Sua natureza dedutiva e fácil de aprender torna-o ideal tanto para iniciantes quanto para programadores experientes.

O modelo matemático sugerido neste artigo foi implementado em linguagem Python, e utilizou-se o ambiente online do Google Colaboratory para seu desenvolvimento.

3. Metodologia

O procedimento metodológico adotado neste estudo é definido como um estudo de caso, com o objetivo de analisar a formulação de planos de ação para situações de inundações nos municípios catarinenses, utilizando representações cartográficas. Para alcançar os objetivos propostos, foram seguidas as seguintes etapas, conforme descrito por Miguel (2007). As etapas utilizadas ao longo do estudo estão ilustradas na Figura 1.

Figura 1 - Etapas Metodológicas adotadas



Fonte: Autores

A seguir são descritas as etapas metodológicas aplicadas na elaboração deste artigo.

- Pesquisa Bibliográfica: Realizou-se uma pesquisa bibliográfica abrangente sobre logística humanitária (LH), análise de dados georreferenciados, técnicas para solucionar problemas de Localização de Máxima Cobertura (PLMC) utilizando métodos exatos e heurísticas, e ferramentas computacionais baseadas em tecnologias livres que apoiem este propósito;
- Modelagem e Implementação: Modelou-se e implementou-se o problema de Localização de Máxima Cobertura para determinar os centros de distribuição de itens de primeira necessidade em situações de desastre. Esta etapa envolveu a aplicação de algoritmos específicos para otimizar a localização dos centros de distribuição;
- Integração Cartográfica: Integraram-se as representações cartográficas dos centros de distribuição utilizando ferramentas cartográficas baseadas em tecnologias livres. Esta integração permitiu uma visualização clara e precisa das localizações otimizadas;

- Avaliação da Localização: Avaliou-se a localização dos centros de distribuição numa rede, considerando a maior parcela de solicitações de itens humanitários e a mínima distância de ajuda humanitária. Esta avaliação foi crucial para garantir a eficiência e a eficácia das operações de socorro.

4. Estudo de caso

4.1 Descrição

Para utilizar o método das p-medianas na definição da localização de uma quantidade pré-determinada de centros de distribuição optou-se por trabalhar com as 20 microrregiões do estado de Santa Catarina. No entanto, para construção do modelo fez-se necessária a distância entre a localização do possível centro de distribuição e o centro consumidor. Assim, definiu-se que o município com maior número de habitantes de cada microrregião (de acordo com o censo do IBGE de 2010) serviria para representá-la, podendo alocar um centro de distribuição. A fim de simplificação do modelo, o município representante assumiu toda área, número de habitantes e o número de ocorrências de desastres naturais da sua respectiva microrregião.

O método das p-medianas para o PLMC desenvolvido considera todas as 295 cidades do estado de Santa Catarina. Os centros de distribuição são fixos, utilizando no modelo as 3 cidades que já realizam essa função nas cidades de Florianópolis, Rio do Sul e Canoinhas.

4.2. Atribuições de pesos

Os pesos utilizados foram o número total de ocorrências de desastres naturais em cada microrregião do estado de Santa Catarina, entre os anos de 2013 e 2019. A Tabela 1 ilustra estes pesos.

Tabela 1 – Pesos desastres naturais

Microrregião	Pesos
Araranguá	07
Blumenau	15
Campos de Lages	17
Canoinhas	36
Chapecó	08
Concórdia	01
Criciúma	11
Curtibanos	06
Florianópolis	04
Itajaí	05
Ituporanga	08
Joaçaba	04
Joinville	11
Rio do Sul	48
São Bento do Sul	11
São Miguel do Oeste	04
Tabuleiro	02

Tijucas	00
Tubarão	02
Xanxerê	04

Fonte: Adaptado de CATRIB e DÁVALOS (2021)

4.3. Definição de Cenários

Foram considerados 3 cenários distintos, sendo eles:

- Cenário 1: Utilização dos 3 centros de distribuição – Florianópolis, Rio do Sul e Joaçaba considerando os pesos;
- Cenário 2: Adição da cidade de Canoinhas como um 4º centro de distribuição considerando os pesos;
- Cenário 3: Utilização dos 3 centros de distribuição considerando apenas as distâncias entre as cidades;
- Cenário 4: Utilização de 4 centros de distribuição considerando apenas as distâncias entre as cidades.

4.4. Implementação do modelo em Python

O modelo foi implementado por meio da Linguagem Python, utilizando o ambiente do Google Colaboratory. O código pode ser dividido em 4 grandes blocos.

O primeiro bloco consiste na instalação de bibliotecas e pacotes como: geobr (para obtenção de dados geográficos do Brasil); spopt (para otimização espacial); Pulp (para modelagem e solução de problemas de programação linear); shapely (manipulação e análise de objetos); geopandas (para realização de operações espaciais); matplotlib.pyplot (criação de gráficos e visualização de dados); numpy (suporte para funções matemáticas); warnings (mensagens de aviso); spaghetti (análise de redes espaciais).

O segundo bloco consiste na obtenção das coordenadas por meio da biblioteca do geobr, a geração de uma rede de pontos onde será inserido os pontos referentes ao centro geométrico de cada cidade para o cálculo das distâncias.

Após isso é realizado o cálculo da matriz de custos e seguido pela implementação do problema das p-medianas, utilizando a matriz de custos e os pesos referentes de cada microrregião.

Finalizando com a elaboração dos mapas visuais plotando os resultados e uma tabela relacionando as cidades ao seu respectivo centro de distribuição.

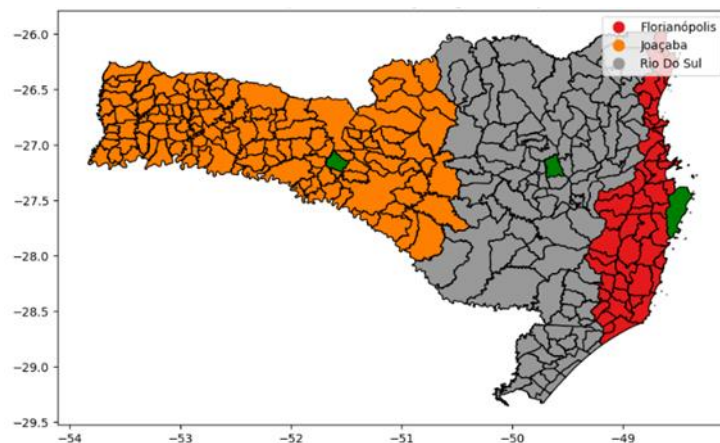
5. Resultados

Nesse item será apresentado os resultados obtidos em cada um dos cenários

5.1. Representação Cartográfica

A Figura 2 ilustra os três centros de distribuição e suas respectivas regiões de atendimento para o cenário 1.

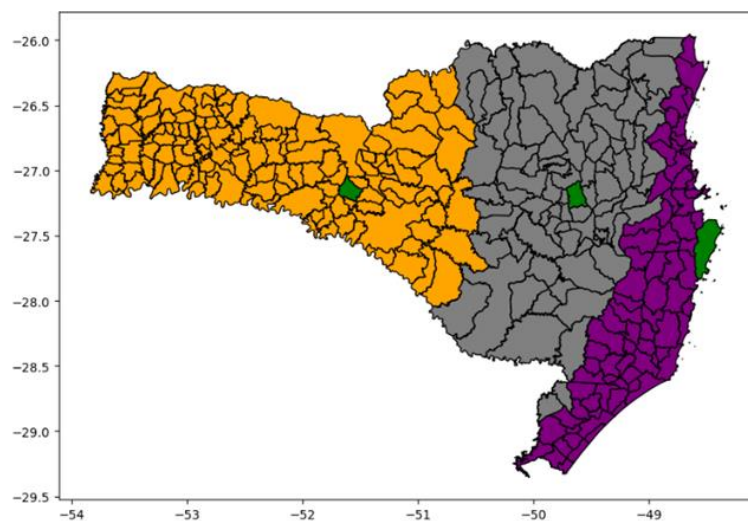
Figura 2 - Regiões de atendimento para o cenário 1



Fonte: Autores

A figura a seguir representa os três centros de distribuição e suas respectivas regiões de atendimento para o cenário 2.

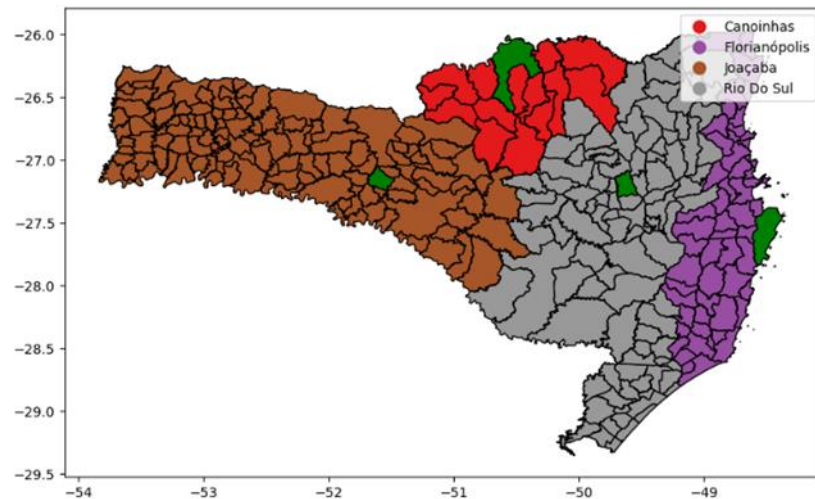
Figura 3 - Regiões de atendimento para o cenário 2



Fonte: Autores

A Figura 4 ilustra os três centros de distribuição e suas respectivas regiões de atendimento para o cenário 3.

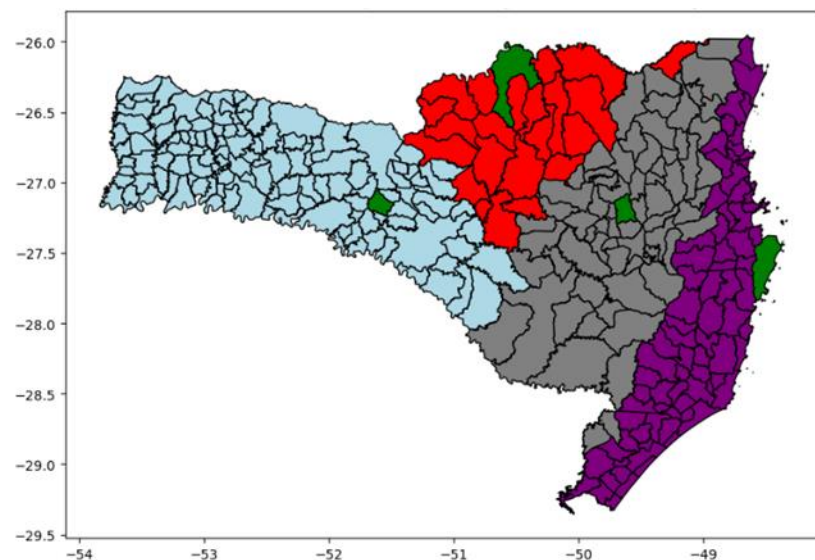
Figura 4 - Regiões de atendimento para o cenário 3



Fonte: Autores

A figura a seguir representa os quatro centros de distribuição e suas respectivas regiões de atendimento para o cenário 4.

Figura 5 - Regiões de atendimento para o cenário 4



Fonte: Autores

A partir dos mapas obtidos pode-se observar que as cidades do extremo sul de Santa Catarina têm o centro de atendimento diferente se calcularmos considerando os pesos e também sem pesos referentes ao número de desastres naturais.

Também pode-se observar que a adição de um novo centro de atendimento (Canoinhas) a região de Rio do Sul e de Joaçaba passam a atender uma quantidade menor de cidades o que acarreta uma melhoria e maior velocidade de atendimento para a região (cenário 4).

6. Conclusão

Nesse artigo foi abordado a implementação do problema das p-medianas associado ao problema de máxima cobertura para apoiar a localização otimizada dos centros de distribuição de itens de primeira necessidade, utilizando a linguagem Python.

O objetivo geral era integrar a representação cartográfica dos centros de distribuição e das cidades a serem atendidas para o estado de Santa Catarina, utilizando a linguagem computacional Python de tecnologia livre.

Para isso foi utilizado a biblioteca geobr para obter as coordenadas de cada cidade do estado de Santa Catarina para ser trabalhado. Como resultado, foi obtido as cidades a serem atendidas por cada um dos três centros de distribuição do estado de maneira otimizada.

Os resultados otimizados obtidos pode ser de grande contribuição para o aumento da velocidade de atendimento em casos de desastres naturais bem como para a melhor otimização dos itens a serem armazenados nos centros de distribuição.

Vale ressaltar que programa utilizado pode ser expandido para cada estado brasileiro realizando pequenas alterações nos dados de entrada (estado a ser estudado, cidades – centro de distribuição, pesos referentes a cada cidade) obtendo resultados similares aos mapas plotados e tabelas relacionando os centros de distribuição as cidades alocadas.

Referências

- BOONMEE, C.; ARIMURA, M.; ASADA, T. Facility location optimization model for emergency humanitarian logistics. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, v. 24, p. 485-498. Setembro, 2017
- CATRIB, E. B. ; VILLARROEL DÁVALOS, R. Desafios na organização de dados para apoiar a prevenção de ocorrências de desastres naturais: Estudo de caso para as Microrregiões de Santa Catarina In: XXVIII *Simpósio de Engenharia de produção - SIMPEP 2021*, Bauru.
- CATRIB, E. B.; VILLARROEL DÁVALOS, R. Modelo de localização de facilidades para a instalação de centros de distribuição para atendimento de microrregiões de Santa Catarina em caso de desastres naturais In: *XLI Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP 2021*, Foz do Iguaçu.
- CEMADEM. Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais, Em 2023, Cemaden registrou maior número de ocorrências de desastres no Brasil. Disponível em: <<https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/noticias/2024/01/em-2023-cemaden-registrou-maior-numero-de-ocorrencias-de-desastres-no-brasil>>, Acesso em: 20 jun. 2024.
- DA SILVA, L. C. F. Gestão da logística humanitária: proposta de um referencial teórico. Rio de Janeiro, 2015. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia (2024). Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/>> Acesso em 10 mar. 2024.
- LI, X.; RAMSHANI, M.; HUANG, Y. Cooperative maximal covering models for humanitarian relief chain management. *Computers & Industrial Engineering*, v. 119, p. 301-308. Maio, 2018
- LIMA, F. S. Logística Humanitária: Modelagem de processos para a fase de aquisição na resposta a desastres naturais. Florianópolis, 2014. Dissertação (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina.

- MATTHES, E. *Python Crash Course: A Hands-On, Project-Based Introduction to Programming*, 2. ed., São Francisco, No Starch Press, Inc., 2019.
- MIGUEL, P. A. C. Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução. *Produção*, v. 17, p. 216-229, 2007.
- PIZZOLATO, N. D.; RAUPP, F. M.; ALZAMORA, G. S. Revisão de desafios aplicados na localização com base em modelos p-mediana e suas variações. *Revista Eletrônica Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento*, v. 4, p. 13-42, 2012.