

# Aplicação de Técnicas de Otimização dentro da Logística Humanitária: Um estudo de caso

Edison Fernando da Silva Nunes

2024-09-07

## 1. INTRODUÇÃO

A logística humanitária refere-se à organização e coordenação das atividades logísticas envolvidas em operações de ajuda humanitária. É um campo especializado que lida com os desafios enfrentados pelos trabalhadores humanitários, como a entrega rápida de suprimentos essenciais em áreas remotas ou afetadas por desastres. Os desastres resultam de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem, que impactam ecossistemas vulneráveis, causando danos humanos, materiais e/ou ambientais, além de prejuízos econômicos e sociais. Especificamente, desastres naturais têm consequências drásticas para sociedades, regiões e países, resultando em vítimas fatais, feridos, desabrigados, cidades destruídas e altos custos de reconstrução. No Brasil, um levantamento realizado pelo Centro de Estudos e Pesquisas sobre Desastres (CEPED, 2013) no período de 1991 a 2012 registrou 38.996 desastres naturais, com destaque para os anos de 2010, 2011 e 2012, que concentraram 78% dos desastres registrados. A cada ano, centenas de desastres naturais, como terremotos, enchentes e inundações, ocorrem em todo o mundo. Diversas atividades de logística humanitária, como o transporte de suprimentos, a gestão de estoques, a tecnologia da informação e comunicação, a distribuição eficiente de alimentos, água e abrigos, bem como serviços de saúde e gestão de resíduos, são necessárias. Também pode incluir outras organizações e agências governamentais, a fim de garantir uma resposta eficaz. A logística humanitária enfrenta muitos desafios, como a falta de infraestrutura básica em áreas afetadas, condições climáticas e ambientais adversas, logística precária e questões de segurança. Além disso, há dificuldades em

garantir a equidade e o acesso igualitário aos recursos entre as populações afetadas. Nesse contexto, o desastre natural ocorrido durante o mês de maio de 2024 na região sul do Brasil, no estado do Rio Grande do Sul, devido à chuvas intensas e consequentes inundações, afetou gravemente as regiões dos vales dos rios Taquari, Caí, Pardo, Jacuí, Sinos e Gravataí, além de Porto Alegre pelo rio Guaíba e regiões de Pelotas e Rio Grande pela Lagoa dos Patos. As inundações devastaram áreas urbanas e rurais, resultando em danos significativos como desabrigados e desalojados com grande prejuízo material. Ao todo, 478 municípios foram afetados, com uma população de 2.398.255 pessoas impactadas. As inundações resultaram em 806 feridos, 31 desaparecidos e 182 óbitos confirmados. A partir da coleta de dados de monitoramento já realizados e pela produção prévia de mapas do município de Rio Grande-RS, que indicavam os locais possivelmente afetados pela elevação das águas da Lagoa dos Patos, foi possível tomadas de decisões mais assertivas e maior previsibilidade das ações. Ao longo dos anos, a logística humanitária avançou consideravelmente, com o uso de tecnologias avançadas, como drones e análise de dados, para melhorar a eficiência e a eficácia das operações. Também foi desenvolvida uma rede global de organizações e agências especializadas em logística humanitária para o compartilhamento de conhecimentos e recursos. A logística humanitária desempenha um papel vital na resposta a emergências e desastres, garantindo que os recursos essenciais cheguem às pessoas que mais precisam. Além disso, desempenha um papel importante na recuperação e reconstrução pós-desastre, ajudando a restabelecer infraestruturas básicas e a fornecer apoio contínuo às comunidades afetadas.

## 2. JUSTIFICATIVA

A crescente frequência e severidade dos desastres naturais, como as inundações recentes no Rio Grande do Sul em maio de 2024, evidenciam a necessidade urgente de desenvolver e implementar estratégias eficazes de logística humanitária. Esses eventos sublinham a importância de uma resposta rápida e coordenada para salvar vidas, minimizar danos e apoiar a recuperação das comunidades afetadas. No entanto, os desafios impostos por infraestrutura precária e condições adversas frequentemente dificultam a entrega eficaz de ajuda humanitária. A aplicação de técnicas de otimização de fluxo de redes em operações de socorro pode aprimorar significativamente a distribuição de recursos e serviços de emergência. Essas técnicas não apenas melhoram a alocação eficiente de suprimentos críticos, como também

reduzem os custos operacionais envolvidos, garantindo que os recursos limitados sejam utilizados da melhor forma possível. Tecnologias avançadas e uma colaboração estreita entre organizações são essenciais para enfrentar os desafios logísticos em situações de desastre, aumentando a eficácia das operações de emergência. Este estudo visa fornecer ferramentas e conhecimentos práticos para gestores e tomadores de decisão, promovendo maior resiliência e capacidade de resposta em situações de emergência. Ao implementar técnicas de otimização e estratégias logísticas avançadas, espera-se melhorar a prontidão e a eficiência das respostas a desastres, fortalecendo a capacidade das comunidades de lidar com os impactos de eventos extremos e facilitando a recuperação pós-desastre.

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1. Objetivo Geral

Aplicar técnicas de otimização de fluxo de redes para minimizar o tempo de atendimento às vítimas de desastres de inundações para o município de Rio Grande - RS, melhorando a eficiência na distribuição de recursos e na alocação de serviços de emergência.

#### 3.2. Objetivos Específicos

1. Mapear a região identificando locais com menor e maior risco de inundações;
2. Desenvolver um modelo de otimização para a localização de abrigos às vítimas de desastres provocados por inundações no município de Rio Grande - RS;
3. Desenvolver um modelo de roteamento para a entrega dos principais suprimentos (alimentos, remédios e roupas).
4. Realizar simulações para os dois modelos apontando a solução ótima.
5. Propor recomendações para estratégias de logística humanitária baseadas nos resultados obtidos.

### 4. METODOLOGIA

O trabalho proposto, segundo (Pizzolato, 2012), seguirá a metodologia básica da Pesquisa Operacional, passando pela identificação do problema, a formulação de um modelo matemático utilizando hipóteses simplificadoras, a resolução do modelo, a validação dos resultados e posteriormente o oferecimento de propostas para implementação. Exemplos

de formulações matemáticas para o problema, sobretudo na busca por respostas, para minimizar danos causados por desastre natural, que constitui o tema principal deste trabalho encontram-se relacionados abaixo.

#### 4.1. Coleta de Dados

Dados meteorológicos, relatórios dos últimos desastres e informações sobre infraestrutura do município serão coletados para análise.

##### 4.1.1. O modelo da P-Mediana

Para o número ótimo e localização dos abrigos, pretende-se utilizar o modelo das P-Mediana. Nesse modelo p-medianas procura-se minimizar a distância média, ou seja, minimizar a soma das menores distâncias dentro de uma região, determinando a localização ideal de (p) instalações (abrigos) de forma que a demanda total desta área seja atendida de maneira eficiente. Esses problemas são comumente aplicados em contextos de planejamento urbano, logística de distribuição, e situações de resposta a emergências, onde a meta é reduzir o tempo ou o custo de transporte entre os centros de distribuição e os abrigos. A solução do problema envolve escolher (p) locais de um conjunto de possíveis locais de abrigos para que a soma das distâncias ponderadas (baseadas na demanda) dos centros de distribuição até as instalações mais próximas seja minimizada. Sejam  $N=\{1,...,n\}$  o conjunto de pontos de demanda;  $i \in N$ , um determinado cliente ou vértice;  $j \in N$  uma instalação em potencial ou mediana; p o número de instalações de serviço ou medianas a serem localizadas;

$$w_i$$

o peso ou importância de cliente  $i$ ;  $[d_{ij}]_{n \times n}$  a matriz simétrica de distâncias de cada cliente  $i$  à instalação

$$j$$

, com  $d_{ii} = 0, \forall i$ ;  $[x_{ij}]_{n \times n}$  a matriz de alocação de cada cliente  $i$ ; onde  $x_{ij} = 1$  se o cliente  $i$  é alocado à instalação  $j$  e  $x_{ij} = 0$ , caso contrário;  $x_{jj} = 1$  indica que  $j$  é uma mediana e  $x_{jj} = 0$  em caso contrário. Então, o modelo da p-mediana é apresentado da seguinte forma:

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

Sujeito a

$$\sum_{j \in \mathbb{N}} x_{ij} = 1; i \in \mathbb{N}$$

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

$$x_{ij} \leq x_{jj}; i, j \in \mathbb{N}$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}; i, j \in \mathbb{N}$$

onde a função objetivo (1) indica a minimização das distâncias ponderadas entre os clientes e os opostos que oferecem serviços; as restrições em (2) indicam que cada cliente  $i$  é alocado a somente uma instalação  $j$ ; a restrição (3) garante que somente  $p$  instalações oferecem o serviço proposto; as restrições em (4) afirmam que um cliente somente é atendido num local onde existe uma instalação que oferece o serviço, e as restrições em (5) impõem variáveis de decisão binárias. Cabe lembrar que pode existir uma lista prévia de pontos candidatos a serem escolhidos como mediana; nesse caso o modelo acima sofre pequenas modificações e recebe o nome tradicional de problema de localização de uma planta simples ou em inglês *simple plant location model (SPLP)*. Observamos ainda que, em lugar de localização, o modelo acima pode ser interpretado como modelo de zoneamento, em que se busca dividir o espaço em  $p$  zonas. Nessa ótica de zoneamento, o modelo de  $p$ -mediana pode ser aplicado ao problema de classificação de um conjunto de padrões, conhecido como *cluster analysis* (Xavier e Xavier, 2011), que busca agrupar elementos com padrões semelhantes em certo *cluster* e com padrões diferentes em *clusters* distintos.

#### 4.2. Desenvolvimento do Modelo

Serão utilizados modelos matemáticos para a localização dos abrigos e para a entrega de

suprimentos. Estes modelos serão alimentado com variáveis como: quantidades de suprimentos, veículos disponíveis, rotas de transporte e demanda por serviços de emergência.

#### 4.2.2. O Modelo para o Roteamento de Veículos

Os problemas de roteamento de veículos (PRV) consistem basicamente em determinar rotas para realizar algum tipo de serviço, de maneira que o custo seja mínimo. Resolver um PRV significa procurar a forma de distribuir a um ou mais veículos uma determinada lista de compromissos de entrega, associados a determinados pontos, devendo os veículos retornar ao ponto de origem ao final do trabalho. A formulação matemática para um Problema de Roteamento de Veículos (PRV) é apresentada abaixo: Minimizar

$$z = \sum_{i,j} (c_{ij} \sum_k x_{ijk})$$

Sujeito a:

$$\sum_k y_{ik} = 1 \quad \text{para } i = 2, \dots, n$$

$$\sum_k y_{ik} = 1 \quad \text{para } i = 1$$

$$\sum_i q_i y_{ik} \leq Q_k \quad \text{para } k = 1, \dots, m$$

$$\sum_j x_{ijk} \leq \sum_j x_{jix} = y_{ik} \quad \text{para } i = 1, \dots, n \quad k = 1, \dots, m$$

$$y_{ik} \in \{0, 1\} \quad \text{para } i = 1, \dots, n \quad \text{para } k = 1, \dots, m$$

$$x_{ijk} \in \{0, 1\} \quad \text{para } i, j = 1, \dots, n \quad \text{para } k = 1, \dots, m$$

Onde:

Seja  $N = \{1, \dots, n\}$  o conjunto de pontos de demanda, onde:

$i \in N$  representa um ponto de demanda (cliente ou vértice);

$j \in N$  é um local potencial para um abrigo;

$$d_{ij}$$

é a distância entre o ponto de demanda  $i$  e o local  $j$ ;

$$x_j$$

é uma variável binária que indica se um abrigo será instalado no local  $j$  (1 se sim, 0 caso contrário);

$$y_{ij}$$

é uma variável binária que indica se o ponto  $i$  será atendido pelo abrigo  $j$ .

#### 4.3. Simulação e Análise

Os modelos serão simulados usando dados reais das inundações de 2024 no município de Rio Grande - RS, focando na eficiência de distribuição e na redução de custos operacionais. Testes de sensibilidade serão realizados para avaliar diferentes cenários.

### 5. RESULTADOS ESPERADOS

Melhoria na alocação de abrigos: Espera-se que o modelo de P-Mediana sugira um conjunto de locais estratégicos para a instalação de abrigos, considerando a minimização da distância média entre os pontos de demanda e os abrigos. Isso deve reduzir significativamente o tempo de resposta durante desastres, permitindo que as vítimas sejam acolhidas de forma mais rápida e eficiente. A localização estratégica dos abrigos é crucial em cenários de inundações, onde o tempo de resposta pode ser determinante para salvar vidas e mitigar o impacto dos desastres. Além disso, a distribuição eficiente dos abrigos contribui para a otimização de recursos, uma vez que evita sobrecarga em determinados locais e garante que todos os abrigos recebam um fluxo equilibrado de vítimas.

Este projeto busca contribuir para a logística humanitária ao aplicar modelos de P-Mediana e técnicas de roteamento, focando na diminuição dos tempos de atendimento às vítimas de inundações no município de Rio Grande – RS. A aplicação desses modelos

não só auxilia na escolha do local mais próximo que servirá de abrigo, mas também no abastecimento adequado de cada abrigo com suprimentos essenciais, como alimentos, medicamentos e água. Além disso, espera-se que o estudo possa oferecer insights valiosos sobre como aprimorar a alocação de recursos em cenários futuros, utilizando técnicas de otimização para criar uma rede de resposta rápida e eficiente. A utilização de modelos matemáticos e algoritmos de roteamento também permitirá identificar as melhores rotas de distribuição de suprimentos, minimizando o tempo de transporte e os custos operacionais envolvidos, resultando em um sistema de resposta mais ágil e menos oneroso.

## 6. CRONOGRAMA

| Etapas  | 1º trim<br>2024 | 2º trim<br>2024 | 3º trim<br>2024 | 4º trim<br>2024 | 1º trim<br>2025 | 2º trim<br>2025 | 3º trim<br>2025 | 4º trim<br>2025 |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Revisão Bibliográfica   |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| Submissão de artigo da disciplina de Seminários em Ambientometria | B2              | C2              | D2              | E2              | F2              | G2              | H2              | I2              |
|   | B3              | C3              | D3              | E3              | F3              | G3              | H3              | I3              |
| Estudo dos Modelos  | B4              | C4              | D4              | E4              | F4              | G4              | H4              | I4              |
| Desenvolvimento dos Modelos                                       | B5              | C5              | D5              | E5              | F5              | G5              | H5              | I5              |
| Conclusões  | B6              | C6              | D6              | E6              | F6              | G6              | H6              | I6              |

Table 1: Sua tabela de 9 colunas e 6 linhas