

# MODELAGEM DE PROBLEMAS DA SEGURANÇA PÚBLICA: UMA PROPOSTA DE MODELOS PARA A LOCALIZAÇÃO DE BASES POLICIAIS E ROTEIRIZAÇÃO DE VIATURAS

**ANDRÉ MORAIS GURGEL (UFPE)**

andmgurgel@gmail.com

**Rodrigo José Pires Ferreira (UFRN)**

rodjpf@gmail.com

**Dario José Aloise (UFRN)**

aloisedj@gmail.com



*A localização de unidades policiais é um ponto estratégico na gestão de operações policiais principalmente no que concerne aos custos de operações e aos tempos de respostas para ocorrências policiais. Neste trabalho foi realizada uma análise comparativa entre um cenário ideal, em que se posicionam todas as bases em pontos ótimos e uma solução real, em que é realizado o zoneamento e o cálculo das distâncias para bases policiais já existentes. Esta análise utilizou-se de dois modelos da pesquisa operacional: o modelo das p-medianas objetivando a localização dos melhores pontos para a alocação das bases e o do caixeiro viajante, em que é realizada a roteirização de cada segmento encontrado pelo primeiro tipo de problema. Além disto, foi realizada a aplicação em uma capital brasileira, em que foi possível perceber uma diferença estimada entre os modelos de 44% da distância percorrida pelas viaturas.*

*Palavras-chaves: segurança pública, localização de bases, roteirização*

## 1. Introdução

O conceito de violência proposto pela Organização Mundial de Saúde (OMS, 2002) define que esta ocorre quando se utiliza da força física ou do poder real, ou potencial, contra si próprio, contra outras pessoas ou contra um grupo ou uma comunidade, que resulte ou tenha grande possibilidade de resultar em lesão, morte, dano psicológico, deficiência de desenvolvimento ou privação.

As taxas de mortalidade por causas externas (acidentes e violência) nos centros urbanos brasileiros aumentam continuamente desde a década de 80 e é uma das maiores da América Latina atualmente. De acordo com dados do Ministério da Saúde dos anos 80 até 2002 houve um aumento de 11,7 para 27,8 mortes a cada cem mil habitantes proporcionadas por estas causas. Enquanto isso na Europa Ocidental as taxas são de menos de 3 mortes a cada 100 mil habitantes. (SOUZA e LIMA, 2006).

A utilização de métodos e técnicas da pesquisa operacional são ferramentas importantes na solução de problemas de engenharia e de planejamento. Tais ferramentas encontram aplicação crescente em problemas nos diversos setores da economia, entre eles o setor público.

No setor público pode-se destacar os trabalhos de Kort et al(1998) que a partir de uma equação dinâmica dimensiona o efetivo policial necessário para que se consiga inibir o mercado de drogas sem um custo elevado; Curtin et al (2007) que trabalhou no problema de p-medianas na busca da melhor cobertura de atendimento das viaturas diminuindo assim o tempo de deslocamento; já Zeng et al (2006) fez o dimensionamento das filas de espera e o scheduling (planejamento de horários visando a uma cobertura mais equitativa das regiões).

Taylor e Huxley(1989) desenvolveram um Sistema de Apoio a Decisão (SAD) para o planejamento das escalas policiais que permitiu um melhor dimensionamento da força de trabalho na cidade de São Francisco e permitiu o aumento de 25% no efetivo de trabalhadores, diminuindo em 20% o tempo de resposta ao atendimento de emergências e reduzindo em 5,2 milhões por ano os gastos na área de segurança pública.

A localização das bases policiais em pontos estratégicos é vital para que se obtenham custos operacionais tempos de resposta para o atendimento de ocorrências menores.

Neste trabalho é realizada uma análise comparativa entre uma situação hipotética, em que todos os pontos base da polícia são localizados em pontos ótimos e uma situação real, em que todas estas bases já estão construídas e definidas. Para isto, combina-se o modelo das p-medianas buscando a melhor localização para os postos e posteriormente aplica-se o problema do caixeiro viajante objetivando assim buscar rotas ótimas para cada cluster/segmento em específico.

## 2. Modelos para alocação de unidades policiais

A alocação destas unidades parte da premissa de que as localizações de bases próximas aos locais com grande número de ocorrências devem ajudar na redução da criminalidade e aumentar a cobertura policial. Além desta variável é necessária a consideração da distância entre os pontos com incidência de criminalidade e as unidades.

A distância é escolhida devido a sua alta correlação com o tempo de resposta para atendimento de ocorrências policiais, já que viaturas localizadas em pontos mais próximos a estes locais conseguem chegar num período menor de tempo elevando a probabilidade de êxito no atendimento ou chamada.

A região a ser analisada possui pontos de ocorrências denotados por  $i=1,2,3,\dots,n$  e de unidades policiais representados por  $j=1,2,3,\dots,f$ . Todos estes locais podem ser caracterizados como potenciais alvos para a construção de bases.

## 2.1 Modelo de roteirização para unidades policiais

O Modelo de Roteirização para Unidades Policiais (MRUP) objetiva analisar o a cobertura de regiões que já possuem suas bases policiais fornecendo subsídios de comparação de desempenho com a situação ideal. Além disto, é possível melhorar as rotas de policiamento preventivo nestes locais.

Esta melhoria é possibilitada pela roteirização das viaturas pertencentes às unidades policiais de uma determinada região, já que é possível a obtenção da rota mínima que reduzirá os deslocamentos possibilitando a estimativa da distância percorrida durante determinado período de tempo.

Para que seja aplicado este modelo é importante ligar os pontos de ocorrência mais próximos a cada unidade policial em funcionamento e deste conjunto delimitado desenvolver a roteirização de cada segmento. Esquemáticamente isto pode ser representado da seguinte forma:

1. Calculam-se as distâncias entre os pontos de ocorrências e as unidades;
2. Alocam-se os pontos de ocorrências para suas bases mais próximas;
3. Delimita-se a área de influência de cada base a partir da análise dos pontos de ocorrência que estão conectados a cada um deles;
4. Desenvolvem-se a roteirização de cada segmento;

A roteirização foi desenvolvida utilizando-se do problema do caixeiro viajante (TSP) utilizando-se de ponderação nos nós. Este problema é representado abaixo:

$$\min \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n O_j c_{ij} x_{ij} \quad (2.1)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad \forall j \in V \quad (2.2)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad \forall i \in V \quad (2.3)$$

$$\sum_{i,j \in S} x_{ij} \leq |S| - 1 \quad \forall S \in V (S \subset V) \quad (2.4)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i,j \in V \quad (2.5)$$

Sendo que:

$x_{ij}$ : variável binária, sendo 0 quando não há ligação entre os pontos e 1 quando se ligam;

$c_{ij}$ : distância entre os pontos  $i$  e  $j$  que formam uma matriz simétrica  $C_{n \times n}$ ;

$V$ : conjunto de pontos  $n$

$O_j$ : quantidade de ocorrências no ponto  $i$

A Eq. 2.1 busca a minimização das distâncias ao se percorrer determinado circuito. Já a Eq. 2.2 e a 2.3 evitam que um ponto não se ligue a mais de um ponto. A Eq. 4.4 evita a formação de subciclos e a Eq. 2.5 são as constantes de integralidade.

Após a resolução do TSP somam-se as funções objetivo encontradas para cada segmento possibilitando a obtenção dos custos totais. Este resultado é usado no modelo de roteirização para unidades policiais e serve de suporte comparativo na utilização do Modelo de Alocação e Roteirização de Novas Unidades Policiais (MARNUP).

## 2.2 Modelo de alocação e roteirização de novas unidades policiais

O modelo de Alocação e Roteirização de Novas Unidades Policiais (MARNUP) objetiva a alocação de novas unidades em locais que ainda não possuem bases policiais. Serve também como subsídios para comparar o desempenho de regiões que já possuem uma configuração inicial, mas desejam avaliar o quão distante estão da cobertura ótima desenvolvida nesta modelagem.

As variáveis selecionadas são similares ao MRUP, mas não é utilizada a localização das unidades policiais existentes, visto que este modelo pressupõe que a região trabalhada está iniciando a utilização de unidades policiais, ou seja, ainda não possuem base alguma.

Para que o modelo contemple a quantidade de ocorrências em cada ponto e a distância entre eles foi utilizado o modelo das  $p$ -medianas, em que é possível a inclusão de um peso na função objetivo. Posteriormente é aplicado o problema do caixeiro viajante para cada segmento de maneira similar ao MRUP objetivando encontrar a distância percorrida por cada sub-região em deslocamentos preventivos.

O modelo das  $p$ -medianas pode ser representado matematicamente da seguinte forma:

$O_i$ : número de ocorrências em cada ponto  $i$  do problema.

$X_{ij}$ : é igual a 1 se a demanda do nó  $i$  é coberta pela instalação inserida em  $j$ , senão é 0.

$Y_j$ : é igual a 1 se uma instalação é inserida no nó  $j$ , senão é 0.

$d_{ij}$ : a distância entre o nó da demanda  $i$  até o nó candidato a ser instalação  $j$  ( $d_{ij} = 0$ , se  $i=j$ ).

$P$ : número de instalações a serem estabelecidas.

$n$ : número de nós

Com isto, é possível definir a função objetivo e as restrições do problema como:

$$\text{Min} \sum_i \sum_j O_i d_{ij} X_{ij} \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (2.6)$$

sujeito a:

$$\sum_j X_{ij} = 1 \quad \forall i, \quad (2.7)$$

$$\sum_j Y_j = P, \quad (2.8)$$

$$X_{ij} \leq Y_j \quad \forall i, j, \quad (2.9)$$

$$X_{ij}, Y_j \in \{0,1\} \quad \forall i, j. \quad (2.10)$$

Como neste problema se busca a minimização do custo total necessário para satisfazer os nós necessários, a Equação 2.7 define que cada nó de demanda seja servido por uma instalação apenas. A Equação 2.8 estabelece a quantidade exata de P pontos de instalação. Já a Equação 2.9 possibilita o encontro entre uma instalação aberta e os seus pontos de demanda respectivos. (BEASLEY, 1985; CHAVES e LORENA, 2008; JAMSHIDI, 2009; JIANG e XU, 2006; Scaparra e Scutellà, 2001; TALBI, 2009 e ZARINBAL, 2009)

A função objetivo é apresentada como a multiplicação entre o número de ocorrências do ponto que será assistido pela instalação e a distância entre os dois. Então, a utilização de  $O_i$  diminui a importância relativa da distância, já que esta não é a única variável que provoca mudanças na função objetivo.

Com isto, pontos de ocorrência que ficam distantes dos outros locais, mas possuem um elevado índice de criminalidade possuem uma probabilidade maior de alocação de unidades próxima diminuindo os prejuízos com elevados tempos de resposta policial para o atendimento de emergências.

Após a aplicação deste modelo os pontos não selecionados mais próximos a cada mediana é ligada a esta formando segmentos. Após isto, a roteirização é realizada com a aplicação do problema do caixeiro viajante e conseqüentemente a distância percorrida de cada rota é obtida. Esquemáticamente os passos podem ser descritos da seguinte forma:

1. Calculam-se as distâncias entre todos os pontos de ocorrência existentes no modelo;
2. Aplica-se o modelo das p-medianas ponderado objetivando encontrar as medianas, ou seja, os pontos para localização das unidades policiais;
3. Ligam-se as medianas mais próximas a cada ponto de ocorrência não selecionado compondo segmentos;
4. Aplica-se a roteirização usando o problema do caixeiro viajante;
5. Determinam-se os valores ótimos das funções objetivo para cada segmento;
6. Somam-se as distâncias percorridas para cada rota, obtendo-se a distância total;

A análise dos resultados no MARNUP deve ser feita com base na distância total percorrida encontrada pela soma de todos os segmentos. Além disso, é importante a realização de análise de sensibilidade com relação à variação no número de medianas. Isto permite a verificação no aumento ou diminuição na distância percorrida quando a partir da redução na quantidade de medianas do problema.

### 3. Aplicação dos modelos na polícia natalense

Nesta seção se ilustrará os modelos desenvolvidos no item anterior aplicando-os na Cidade do Natal verificando assim a viabilidade destes em um caso real. Além disto, foi realizada a análise de resultados buscando verificar a robustez das soluções encontradas.

### 3.1 Caracterização da polícia natalense

A Polícia Militar norterriograndense foi criada em 04 de novembro de 1836 pelo Governador da província do Rio Grande do Norte, João Ferreira de Aguiar. Ao longo dos tempos, o Corpo Policial recebeu as mais diversas denominações, tais como: Força Pública, Batalhão de Segurança, até a denominação de Polícia Militar, porém, sempre teve o objetivo de combater o crime organizado, a violência e o ilícito penal através de uma distribuição do seu efetivo no serviço diário.

Tem como principais funções o policiamento ostensivo e a preservação da ordem pública no Estado do Rio Grande do Norte. Juntamente com a Polícia Civil, Corpo de Bombeiros Militar, Instituto Técnico e Científico de Polícia, integra a Secretaria de Segurança Pública e Defesa Social do Estado do Rio Grande do Norte.

Na Cidade do Natal ela atua utilizando os bairros como norteadores das ações a serem realizadas. Com isto, tem-se a divisão em 36 áreas de atuação como pode ser verificado na Figura 3.1.

**Divisão Administrativa - NATAL**



**Figura 3.1:** Mapa da cidade do Natal dividido por Bairros

Os dados foram coletados no Comando de Policiamento da Capital (CPC). Este é o órgão responsável pelo policiamento ostensivo e manutenção da ordem pública na Cidade do Natal. É dividido em cinco Batalhões, sendo um de Operações Especiais (BOPE), no qual abriga algumas unidades de elite, e um de Policiamento Comunitário (9º BPM). Dispõe ainda de uma Companhia de Polícia Feminina (CPFem) e uma Companhia de Rondas Ostensivas com Apoio de Motos (ROCAM).

Possui um efetivo aproximado de 2000 policiais, entre oficiais e praças possuindo preparação para atividades de rádio patrulhamento comunitárias, policiamento ostensivo a pé, motorizado, controle de distúrbios e operações especiais de alto risco.

Para o estudo de caso foram coletados dados semanais entre o período de 01/01/09 a 30/09/09, a partir das três visitas técnicas realizadas. Estes dados forneceram 602 pontos da Cidade do Natal que necessitam de atividade policial de uma maneira mais intensa, já que obtiveram mais de 20 ocorrências neste período de nove meses.

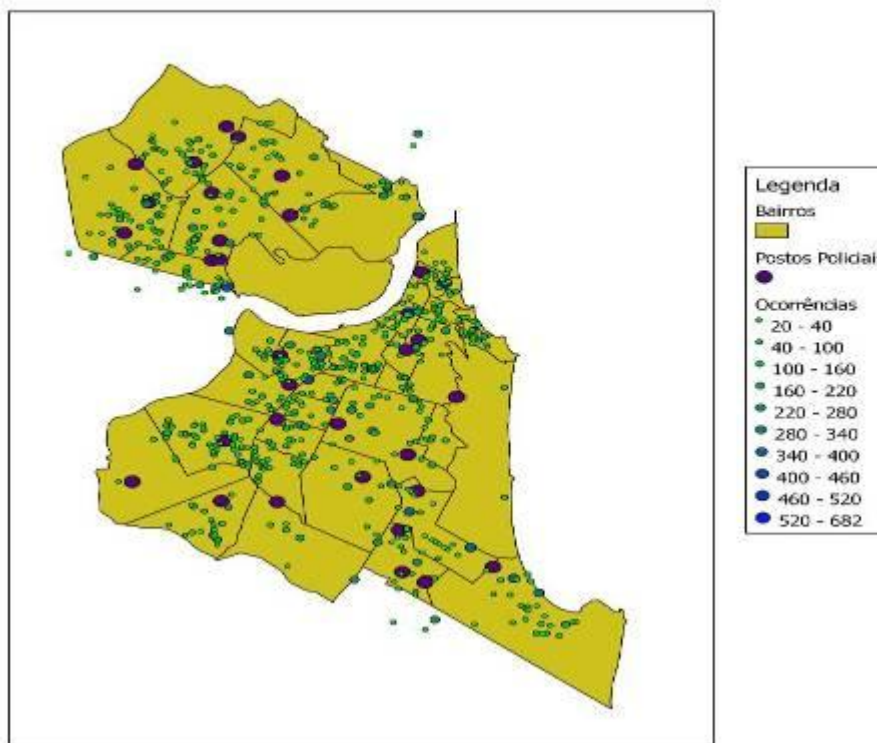
Atualmente existem trinta e uma unidades de policiamento dispostas em dezenove bairros da capital. Estes postos se dividem em dois tipos distintos, a saber: policiamento comunitário (bases menores visando ao policiamento preventivo) e batalhões (locais maiores que visam ao atendimento de emergências).

### 3.2 Aplicação do MRUP na cidade do Natal

Como o exposto acima a primeira etapa para a aplicação deste problema é coletar os pontos com maior número de ocorrências na Cidade. Após isto, é realizado o cálculo das distâncias entre um ponto e outro.

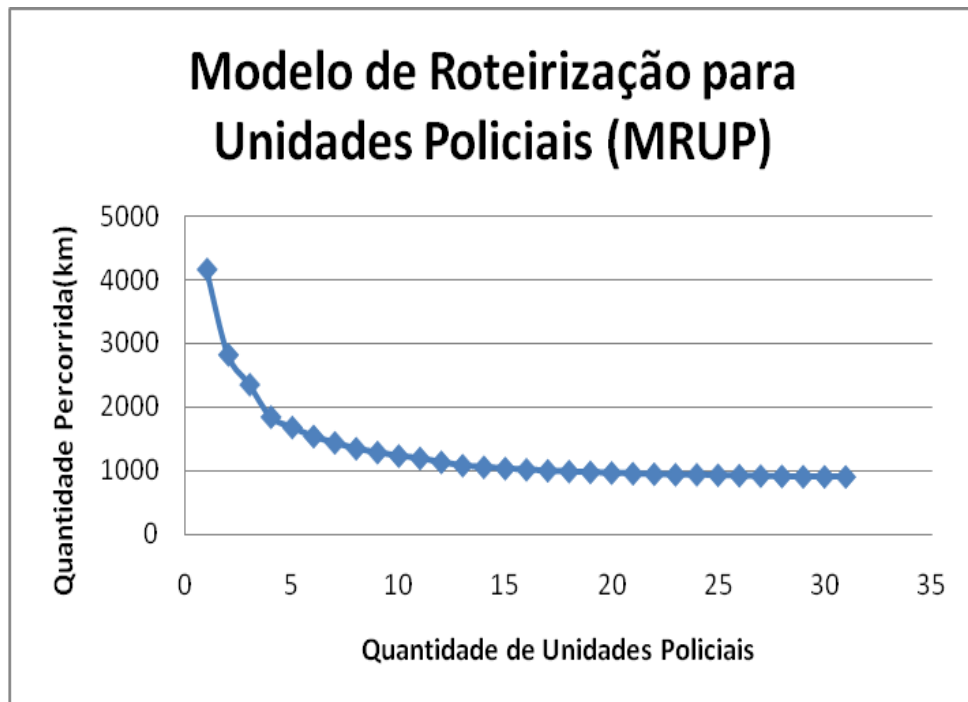
Como se observa na Fig. 3.2 esta região possui 31 postos policiais e 602 pontos de ocorrências.

**Divisão Administrativa de Natal com Pontos de Ocorrências e Unidades Policiais**



**Figura 3.2:** Mapa da Cidade do Natal dividido por Bairros e representando os postos policiais e de ocorrência

Neste modelo os pontos de ocorrências são subordinados a seus postos policiais mais próximos. A partir disto, é realizada a roteirização e a distância percorrida para cada ronda efetuada na cidade. O resultado utilizando-se dos pontos policiais já existentes representam 904.99 km deslocados/ronda. Além disto, é possível analisar o impacto da desativação de determinados pontos, conforme é exposto no Gráfico 3.1. Neste Gráfico objetiva-se verificar se a retirada de postos na cidade leva a uma mudança considerável no deslocamento das viaturas.



**Gráfico 3.1:** Distância percorrida por ronda realizada diariamente variando-se as unidades policiais pelo modelo MRUP

O que se verifica com o Gráfico 3.3 é que a partir de 21 postos policiais não se obtém uma melhoria considerável no resultado da função objetivo. Contudo, a análise da distância percorrida não deve ser a única variável analisada para definir a utilidade de um posto policial, já que este pode possuir uma função estratégica para a corporação.

Concluí-se com a aplicação deste modelo que com a configuração atual da Cidade do Natal é possível desativar unidades policiais que não possuem um custo benefício adequado. Além do que estes podem ser desativados e unidades policiais novas podem ser abertas em locais mais estratégicos melhorando a cobertura da região.

### 3.3 Aplicação do MARNUP na cidade do Natal

Este modelo busca uma configuração ideal para a Região de Natal. A sua aplicação é importante neste contexto, visto que possibilita analisar o quão distante está a realidade atual em relação a um contexto hipotético.

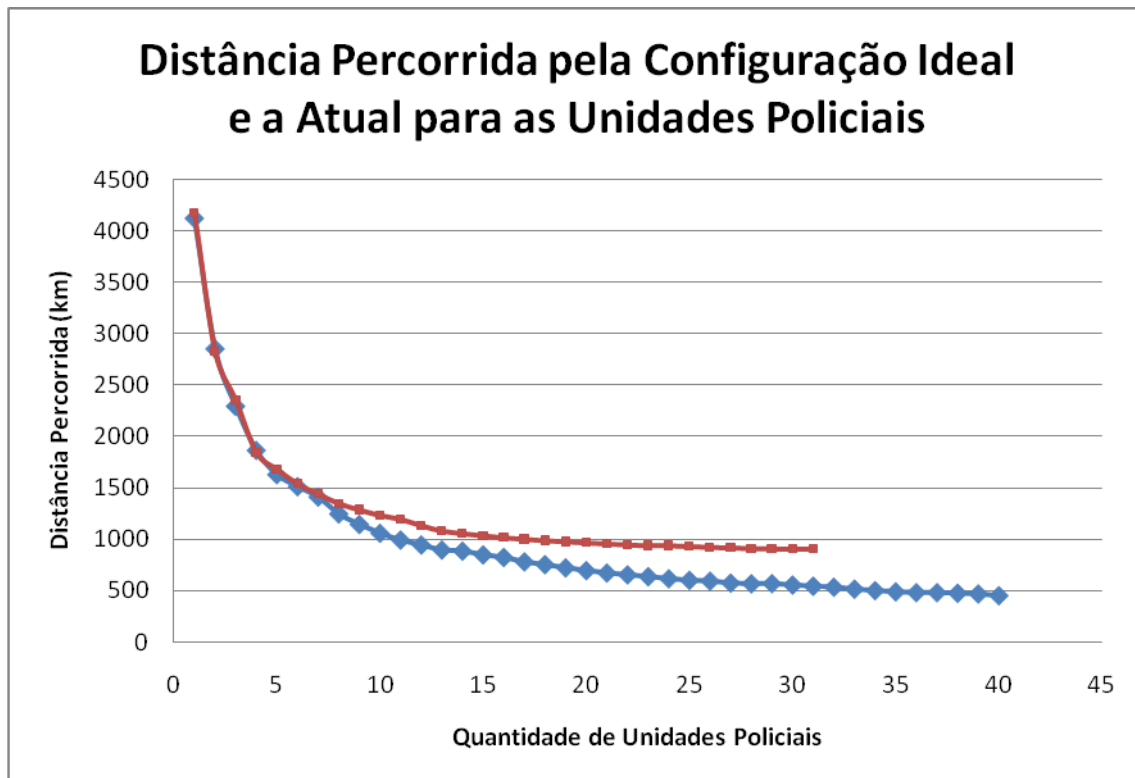
Para isto, foram realizados experimentos que variaram de 1 a 40 unidades policiais. Isto possibilita a análise da mudança da função objetivo a partir do acréscimo ou decréscimo de um ponto, conforme é exposto no Gráfico 3.3.





**Gráfico 3.3:** Distância percorrida por ronda realizada diariamente variando-se as unidades policiais pelo modelo MRUP

Como é possível observar no Gráfico 3.2 o valor da função objetivo segue aproximadamente uma função exponencial que converge na distância de 500 km percorrido. Este valor se comparado a convergência da função representada pelo Gráfico 3.1 permite estimar a diferença entre a configuração atual e a ideal em 44%. Esta melhoria pode ser observada no Gráfico 3.2.

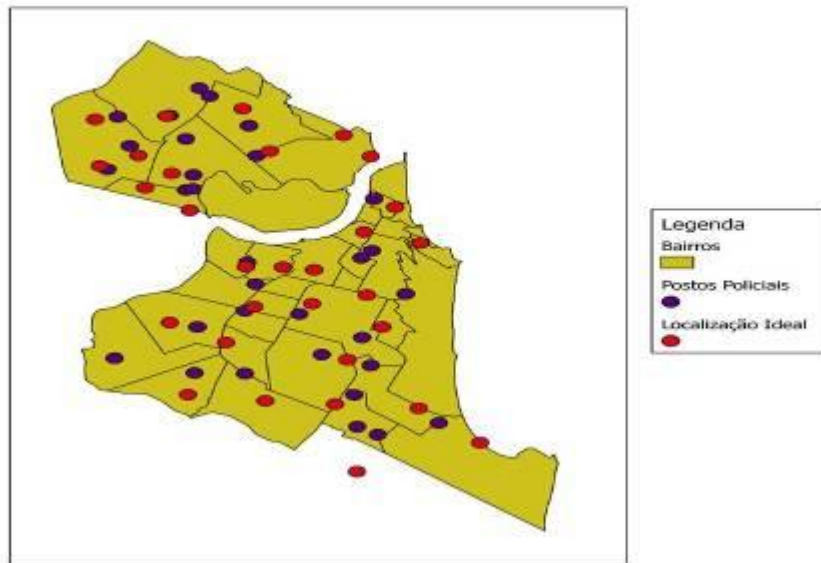


**Gráfico 3.2:** Comparação entre a distância percorrida pelo MRUP e o MARNUP

Há uma diferença no número de pontos no Gráfico 3.2 devido à restrição no número de pontos que podem ser analisados pelo MRUP, já que este não possibilita o acréscimo de novas medianas por retratar a configuração atual da cidade.

Esta redução na distância percorrida é percebida também na Figura 3.3, em que é possível verificar uma melhor distribuição das unidades policiais.. Verifica-se neste caso que 23 bairros são cobertos por postos, enquanto no MRUP a cobertura é de 19 sub-regiões administrativas.

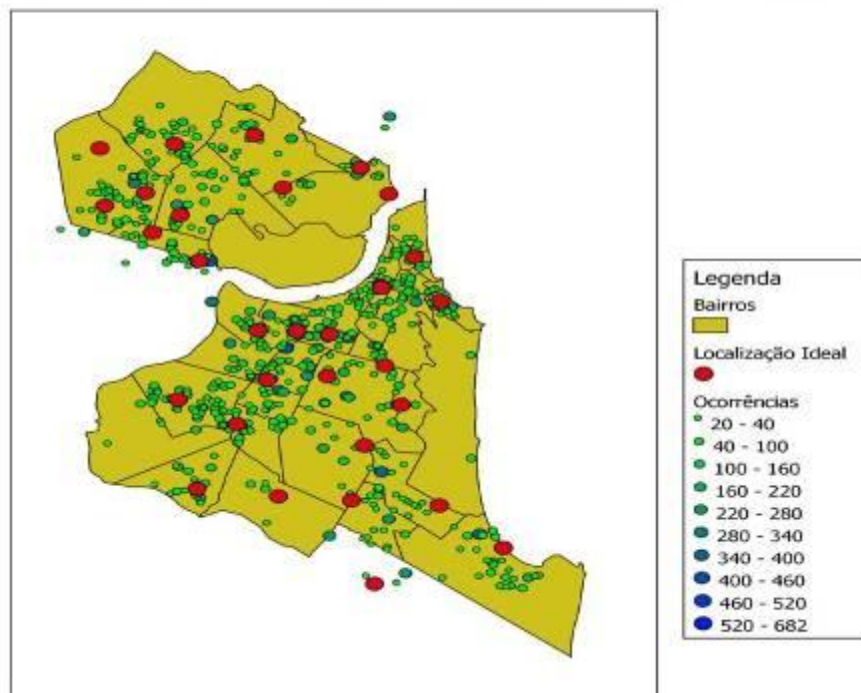
**Região Administrativa de Natal com Postos e Localização Ideal para as Unidades Policiais**



**Figura 3.3:** Comparação da Localização dos Postos Policiais em Natal atual e a Ideal

É possível observar na Figura 3.4 que estes pontos se concentram em regiões com maiores incidências de crimes. Isto decorre da utilização das ocorrências como um peso na função objetivo do modelo de p-mediana ponderado. Esta maior concentração deve implicar em um tempo de resposta menor para locais mais violentos. Contudo, pode levar a filas em regiões com chamadas emergenciais ocasionais.

**Região Administrativa de Natal com Localização Ideal para as Unidades Policiais e Pontos de Ocorrências**



### **Figura 3.4:** Distribuição dos Postos Policiais Ideal em Relação aos Pontos de Ocorrências

Esta redução na distância percorrida verificada no MARNUP causa impacto nos custos variáveis. Contudo, nesta configuração ideal há um aumento nos custos fixos, já que estes novos locais necessitam ser construídos. Este custo de instalação deve ser acrescentado nesta parcela dos custos totais.

Contudo, é importante perceber que esta diferença entre os dois modelos é significativa, por isto algumas mudanças devem ser geradas na situação atual para que se obtenha uma melhoria na distância entre os pontos.

#### **4. Considerações Finais**

As soluções governamentais de longo prazo tais como melhoria da renda, da educação e da redução do desemprego, podem ajudar na resolução do problema da criminalidade e na melhoria do bem estar da sociedade brasileira. Contudo, investimentos deste porte são lentamente observados e de alto custo. Por isto, medidas de curto prazo devem ser tomadas para inibir e ajudar a reduzir à violência integrada às políticas de longo prazo.

A alocação de unidades policiais é um ponto importante para a melhoria da segurança pública. No Brasil, em que a violência cresce em proporções elevadas desde a década de 80 gerando sensação de insegurança. Isto cria demanda da população por serviços que a atendam prontamente.

O presente estudo utilizando-se de técnicas da pesquisa operacional fornece suporte ao decisor na alocação de unidades policiais e roteirização de viaturas levando em consideração características e peculiaridades de uma determinada região.

A principal contribuição deste trabalho foi a de propor modelos de pesquisa operacional para apoiar as decisões estratégicas e operacionais no intuito de melhorar a segurança pública. Com isto, espera-se que se obtenha uma redução do tempo de resposta e dos custos operacionais, conseqüentemente levando a uma maior eficiência da ação policial.

#### **Referências**

**CURTIN, K. M.; HAYSLETT-MCCALL, K.; QIU, F.** Determining Optimal Police Patrol Areas with Maximal Covering and Backup Covering Location Models. Network and Spatial Economics, 2007.

**KORT, P. M.** et al. Optimal Enforcement Policies (Crackdowns) on a illicit Drug Market. Optimal Control Applications & Methods, v. 19, p. 169-184, 1998.

**SOUZA, E. R. D.; LIMA, M. L. C. D.** The panorama of urban violence in Brazil. Ciência e Saúde Coletiva, Rio de Janeiro, 2006.

**TAYLOR, P. E.; HUXLEY, S. J.** A Break from Tradition for the San Francisco Police: Patrol Officer Scheduling Using an Optimization-Based Decision Support System. Interfaces, n. 19, p. 4-24, Jan-Fev 1989.

**ZENG, D. D.; DROR, M.; CHEN, H.** Efficient Scheduling of Periodic Information

Monitoring Requests. *European Journal of Operational Research*, v. 173, p. 583-599, 2006.

**BEASLEY, J.** A note on solving large p-median problems. *European Journal of Operational Research*, v. 21, p. 270-273, 1985.

**CHAVES, A. A.; LORENA, L. A. N.** Clustering search algorithm for the capacitated centered clustering problem. *Computers & Operations Research*, 2008.

**JAMSHIDI, M. Median Location Problem.** In: **FARAHANI, R. Z.; HEKMATFAR, M.** Facility Location: Concepts, Models, Algorithms and Case Studies. 1<sup>a</sup>. ed. Berlin: Physica-Verlag, 2009. Cap. 8, p. 177-191.

**JIANG, J.; XU, Y.** Minisum location problem with farthest Euclidean distances. *Math Methodologies to Operations Research*, n. 64, p. 285-308, 2006.

**SCAPARRA, M.; SCUTELLÀ, M.** Facilities, locations, customers: Building blocks of location models: A survey. Computer Science Department, University of Pisa. Pisa, p. 01-18. 2001.

**TALBI, E.-G.** Metaheuristics: From Design to Implementation. 1<sup>a</sup>. ed. New Jersey: Wiley, 2009.

**ZARINBAL, M.** Distance Functions in Location Problems. In: **REZA, Z. F.; HEKMATFAR, M.** Facility Location: Concepts, Models, Algorithms and Case Studies. 1<sup>a</sup>. ed. Berlin: Physica-Verlag, 2009. Cap. 1, p. 5-18.