

Estratégia para seleção de locais candidatos voltada ao problema de localização de viaturas policiais

Valtania Ferreira da Silva

UFPB - Prog. de Pós-Graduação em Eng. de Produção
fvaltania@hotmail.com

Lucídio dos Anjos Formiga Cabral

Universidade Federal da Paraíba - Centro de Informática
lucidio@ci.ufpb.br

Roberto Quirno

Universidade Federal da Paraíba - Centro de Informática
quirino.rqn@ci.ufpb.br

RESUMO

Localizar serviços públicos emergenciais se enquadra em um dos problemas clássicos de otimização onde pontos candidatos são disponibilizados para que sejam escolhidos, dentre eles, aqueles que otimizem o critério de eficiência estabelecido, visando localizar um número limitado de facilidades. O conjunto de locais candidatos tem grande influência sobre a solução final gerada por um modelo de localização. Sendo assim, neste artigo descreve-se uma abordagem para encontrar um conjunto de locais candidatos ao posicionamento de viaturas policiais, baseada em três estratégias: decisão do gestor de segurança, modelo de P-mediana e método de clusterização *k-means*. Inicialmente, foi identificada a presença de *hotspots* de crimes. No SPRING foram gerados os *hotspots*, assim como resolvido o problema de P-mediana. Com apoio de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) foi possível também georreferenciar as ocorrências de crimes e visualizar a distribuição dos locais candidatos selecionados.

PALAVRAS CHAVE. P-mediana, K-means, localização de viaturas policiais

Área principal (AdP - PO na Administração Pública, SE - PO em serviços)

ABSTRACT

Locating public emergency service into one of the classic problems of optimization, in which candidate points are available to be chosen, among them, those that optimize the efficiency criteria established. The candidate set of locations have great influence on the final solution generated by a model of facility location. Therefore, this article describes an approach to find a set of candidate locations to the positioning police cars, based on three strategies: decision of the security manager, model P-median and clustering method *k-means*. First, to identify the presence of hotspots of crime is essential. After, hotspots and the p-median problem were resolved in SPRING. With the support of Geographical Information Systems (GIS) was also possible to georeference the data and visualize the distribution of local candidates selected.

KEYWORDS. P-mediana, K-means, patrol location

Main area (AdP - OR in Public Administration, SE - OR in Services)

1. Introdução

Serviços públicos emergenciais, tais como segurança pública, defesa civil e serviços médicos, possuem em comum o objetivo de atender a população em um menor espaço de tempo possível, já que visam salvar vidas e coibir crimes. De um modo geral, a operacionalização desses serviços consiste na disponibilização em pontos fixos de veículos (recursos limitados), os quais ficam subordinados a uma Central de Despacho para serem acionados, mediante uma solicitação da comunidade. Neste sentido, a eficiência e eficácia do serviço emergencial gira em torno do melhor posicionamento de veículos (viaturas), visando diminuir o tempo de resposta.

Um dos problemas clássicos de otimização é onde situar bens ou serviços, de modo que atendam a demanda, com algum critério de eficiência, como distância ou tempo de resposta. Localizar serviços públicos emergenciais se enquadra nesse tipo de problemas que na literatura é conhecido como localização de facilidades (*facility location*). Nestes problemas, diversos pontos candidatos são disponibilizados para que sejam escolhidos, dentre eles, aqueles que otimizem o critério de eficiência estabelecido. Eleger antecipadamente os possíveis locais candidatos para posicionar facilidades é fundamental durante o planejamento para evitar insucesso, prejuízo ou insatisfação de clientes. Nesta fase prévia, diversas estratégias podem ser adotadas, dentre elas: opinião de especialista, decisão do gestor, problema de p -medianas e técnicas de clusterização de dados k -means (LORENA, 2001; REVELLE, 2005; COSTA, 2010; KAVEH et al, 2010; BANDYOPADHYAY, 2012; OLIVEIRA, 2012). Além do mais, identificar as áreas nas quais a concentração da demanda é maior, representa uma estratégia muito importante para auxiliar o gestor no direcionamento das ações focadas nesse espaço geográfico. A visualização da distribuição espacial dos locais candidatos sugeridos é possível com apoio de um Sistema de Informações Geográficas (SIG), o qual tem sido uma ferramenta aceitável para integração de problemas de localização, análise espacial de pontos e geração de mapas.

Uma das dificuldades encontradas para resolver problemas de localização de facilidades, consiste na determinação ótima dos locais candidatos, justo porque o conjunto desses pontos selecionados reflete diretamente na qualidade da solução apontada pelo modelo de localização de facilidades. Neste sentido, esta pesquisa tem como objetivo utilizar estratégias para seleção de locais candidatos ao posicionamento otimizado de viaturas operacionais, em João Pessoa-PB, para de forma eficaz e eficiente, inibir a prática de atos delituosos e reduzir o índice de criminalidade.

O artigo está organizado em cinco seções, sendo que na seção 2 e 3 foram apresentados os conceitos teóricos de p -medianas, k -means, interpolador *kernel*, SIG e SPRING. Os resultados e discussão estão na seção 4, com a visualização espacial da distribuição dos locais candidatos.

2. Seleção de locais candidatos

Localizar facilidades em uma área geográfica limitada (cidade, bairro), pertence a uma relevante classe de problemas de Pesquisa Operacional, que busca decidir, dentre um conjunto de locais candidatos, quais os melhores pontos para situar uma facilidade, de maneira que seja otimizada uma medida de utilidade, obedecendo diversas restrições, como tempo de resposta, para possibilitar a operação eficiente do sistema produtivo (PIZZOLATO, 2012; LORENA, 2003; REVELLE, 2005). Uma das primeiras providências a ser tomada, quando se deseja posicionar facilidades, é definir o espaço onde as facilidades serão localizadas. Isto porque, segundo ReVelle (2005), frequentemente, a região geográfica é utilizada para definir a categoria do problema de localização e o algoritmo empregado para resolvê-lo. Nos modelos discretos, além das facilidades serem posicionadas, elas devem ser localizadas conceitualmente, em apenas um número finito de pontos eleitos no plano ou na rede. Assume-se também que a demanda e as facilidades estão localizadas nos nós de uma rede, em um conjunto limitado de posições que podem ser representados em um grafo, através de vértices.

Ainda para ReVelle (2005), nos modelos de localização discreta existe uma fase de pré-processamento adicional, para que sejam previamente selecionados os locais candidatos, nos quais as facilidades podem ser localizadas. Neste sentido, é considerada etapa fundamental para a qualidade da solução apontada pelo modelo. Sendo assim, durante esta fase preliminar, técnicas e métodos diversos podem ser utilizados para seleção de um conjunto de pontos possíveis para sediar facilidades. Pesquisas apontam o uso de: problema de p-medianas (LORENA, 2001; BANDYOPADHYAY, 2012), técnica de clusterização *k-means* (KAVEH et al, 2010; OLIVEIRA, 2012), critérios adotados pelo gestor e sugestão de especialista (COSTA, 2010). O importante é que no momento da decisão para posicionar as facilidades já se tenha propostas de vários locais candidatos os quais deverão ser analisados e comparados, mediante os critérios adotados, para serem escolhidos como os melhores pontos de instalar equipamentos.(LORENA, 2003).

2.1 Problemas de p-medianas

O modelo de p-medianas, formulado por Hakimi, (1964), é um problema clássico de localização de facilidades. Tem como objetivo encontrar a localização de P centros (medianas) mapeados em uma rede, de modo que seja minimizada a soma das distâncias de cada vértice ao centro mais próximo. No final, todas as p-medianas encontradas representarão os pontos para localização das P facilidades que se almeja distribuir no espaço geográfico.

A seguir, o problema de p-medianas será formalmente enunciado. Seja um grafo $G = (V, E)$, onde V representa um conjunto finito e não vazio de vértices (pontos de demanda), enquanto E , representa um conjunto de ligações entre os vértices, compostas por pares ordenados de elementos distintos de V . Encontrar um subconjunto de vértices de V ($V_p \subseteq V$), de maneira que $V_p = P$, onde P pode ser variável ou fixo, de tal forma que a soma das distâncias de cada vértice restante em V , até seu vértice mais próximo em V_p , seja a menor possível.

De acordo com Lorena (2001), os problemas de P-medianas podem ser modelados como problemas de programação inteira 0-1. Além do mais, sem perda de generalidade, considerou-se que as medianas são escolhidas do próprio conjunto de vértices apontado no problema. Neste sentido, a formulação do modelo matemático para problemas de P-medianas sem restrições de capacidade, é dada por:

$$v(P) = \text{Min} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

$$P \text{ sujeito a: } \sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \quad \forall i \in N \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{jj} = P \quad (3)$$

$$x_{ij} \leq x_{jj}, \quad \forall i, j \in N, i \neq j \quad (4)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \quad \forall i, j \in N \quad (5)$$

Onde $N = \{1, \dots, n\}$, sendo N o número de vértices na rede; P é o número de centros (medianas) a serem localizados; $D = [d_{ij}]_{n \times n}$, com $d_{jj} = 0$, para todo $j \in N$ é uma matriz de custo (distância) e $X = [x_{ij}]_{n \times n}$, a matriz de alocação, com:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se o vértice } i \text{ é atendido pelo centro } j, i \neq j; \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

e

$$x_{jj} = \begin{cases} 1, & \text{se o vértice } j \text{ é um centro;} \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases}$$

As restrições (2) e (4) garantem que cada vértice i é alocado a somente um centro j , que deve ser uma mediana. A restrição (3) determina o número exato de medianas a serem localizadas (P), e (5) corresponde às condições de integralidade.

2.2 Técnicas de clusterização k -means

Apresentado por McQueen (1967), k -means é um dos mais simples algoritmos de agrupamento, não supervisionado que não precisa ser parametrizado e nem acompanhado. O problema de k -means será apresentado formalmente a seguir, conforme (MAHAJAN, 2009). Dado um conjunto finito $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ de pontos de demanda, em R^m , e um inteiro $k \geq 1$. Deve-se construir k grupos (*cluster*), de modo que os objetos alocados a cada um dos k cluster sejam similares entre si, segundo alguma função objetivo. Para tanto, deseja-se encontrar os k pontos (centróides) de um conjunto de k centróides, dado por $C = \{c_1, c_2, \dots, c_k\}$, de maneira a minimizar a soma das distâncias quadradas euclidianas, entre cada ponto de demanda em X e o respectivo centróide k . A idéia principal é definir k centróides, para cada k *cluster* de um conjunto de dados que denotam um padrão ou classe. Um centróide é um ponto central em relação a um conjunto de outros pontos que compõem um *cluster* (aglomerado). Neste sentido, a função de custo a ser minimizada, de modo bem simplificada, sem restrições, baseada em (HAIR et al., 2005) e (OLIVEIRA, 2012) pode ser formulada como:

$$\text{custo}(k\text{means}) = \sum_{k=1}^k \sum_{x_i \in C_k} d(x_i, x_{0k})$$

Onde x_{0k} é o centróide do *cluster* c_k e $d(x_i, x_{0k})$ é a distância entre os pontos x_i e x_{0k} .

Por outro lado, o algoritmo k -means procede conforme os passos seguintes:

1. Selecionar k centróides randomicamente, como centróides iniciais de k *cluster* (Solução Inicial)
2. Alocar cada ponto da demanda ao centróide mais próximo. Depois os centróides devem se mover para o centro dos *clusters*, de tal modo que k novos *cluster* serão criados.
3. Para cada k novos *clusters* criados, recalcular novos centróides para possibilitar nova alocação de pontos de demanda ao centróide mais próximo.
4. Repetir os passos 2 e 3, até que quando não existir mais mudanças na alocação dos centróides aos pontos de demanda. Algoritmo pára (KAVEH, 2010).

3. Sistema de Informação Geográfica

Sistema de Informação Geográfica (SIG), de acordo com Câmara (2005, p.12), é o termo aplicado para sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos, tendo as principais características “inserir e integrar, numa única base de dados, informações espaciais”, além de “oferecer mecanismos para combinar as várias informações, através de manipulação e análise, bem como para consultar, recuperar e visualizar o conteúdo da base de dados geográfica”.

Os modelos de localização, assim como os SIGs, são considerados sistemas de apoio a decisão espacial que têm como atributos em comum, dados espaciais correspondentes a posições geográficas, representadas por um par ordenado (x, y) de coordenadas espaciais. Devido a capacidade de integrar diversas técnicas para o tratamento de informação espacial, os SIG são fundamentais em problemas de localização, para georreferenciar e, conseqüentemente, possibilitar a visualização da distribuição espacial das facilidades. Sendo assim, o uso de SIG pode contribuir para a rápida percepção visual de informações geográficas que não estavam evidentes, ampliando o entendimento de especialistas e usuários (LORENA, 2001; MAPA, 2006; CURTIN et al, 2010). Geralmente, o problema de localização é resolvido por métodos e

software diversos, enquanto a visualização dos dados se processa com uso de SIG (COSTA, 2010). No entanto, em Lorena(2001) há relatos da integração de SIG e problemas de localização para resolver problemas de P-medianas.

3.1 Integração de SIG e problemas de p-medianas

A integração de SIG e técnicas de Pesquisa Operacional para resolver problemas de localização, ainda não está totalmente difundido na comunidade científica internacional. Entretanto, no trabalho de Lorena (2001) é apresentado um algoritmo que possibilitou a integração do problema de P-medianas aos SIGs: ArcView (da ESRI) e SPRING (INPE). Trata do algoritmo que reflete uma abordagem da heurística lagrangiana/*surrogate*, na qual a viabilização da solução dual é feita através de uma heurística de localização-alocação alternada. Este algoritmo foi integrado ao sistema de informações geográficas SPRING (versão 3.5), no ano de 2001, durante a realização do GisBrasil, em Curitiba. A interface de integração com o SPRING se deu através de um método criado, que atua na representação vetorial dos modelos de rede, temático e cadastral daquele SIG.

Visando avaliar a eficiência do algoritmo de P-medianas integrado ao SPRING, Lorena (2001) realizou alguns testes computacionais, com dados do município de São José dos Campos, variando até o máximo de 3282 vértices e 1141 centros, para o caso sem restrições de capacidade. No estudo, Lorena (2001) simula alguns objetos localizados em vértices da rede, como sendo possíveis pontos para instalação de "algum tipo de atividade". A solução final identificou os quatro melhores locais para posicionar facilidades. Como Lorena (2001) tratou o tipo de atividade a ser posicionada, de forma genérica, vislumbra-se que o modelo de P-medianas integrado ao SPRING, também pode ser utilizado para resolver problemas de várias áreas do conhecimento, inclusive na segurança pública, para localizar viaturas policiais.

O SPRING (Sistema para Processamento de Informações Georreferenciadas) é um banco de dados geográfico de 2º geração, de domínio público, que pode ser adquirido gratuitamente, através do endereço <http://www.dpi.inpe.br/spring>. Tem por objetivo a integração e análise de diferentes tipos de dados espaciais (vetoriais e matriciais), assim como, integrar tecnologias de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação Geográfica (SPRING, 1998).

3.2. SPRING e Interpolador de Intensidade *kernel*

Muitos fenômenos, a exemplo de crimes, podem ser representados através da distribuição espacial das ocorrências, expressas como pontos localizados no espaço. Em uma distribuição de pontos no espaço, o número de ocorrências computadas por unidade de área é denominada de intensidade ou densidade (CÂMARA, 2004). No entanto, a constatação de um número acima do esperado, excessivamente próximos, dessas ocorrências investigadas por unidade de área, simboliza a presença de aglomerados (*cluster*) na distribuição espacial. Sendo assim, a análise exploratória de um evento pontual começa pela estimação da intensidade do fenômeno, visando detectar aglomerados espaciais. Estas estimativas são calculadas, através de interpolações, por métodos diversos, tais como o estimador de intensidade *Kernel*, o qual possibilita a estimação da intensidade do evento, em toda a região de estudo, inclusive nos locais onde o processo não tenha gerado nenhuma ocorrência real. Esses conceitos são muito utilizados para identificação de zonas quentes de criminalidade (*hotspots*), já que segundo Beato (2008), o "estado da arte da análise espacial de crimes utiliza mapas de superfícies de *Kernel*".

De acordo com Câmara (2004), o estimador de intensidade *Kernel* para fazer interpolações "ajusta uma função bi-dimensional k sobre os eventos considerados, compondo uma superfície cujo valor será proporcional à intensidade de amostras por unidade de área". Essa função k de estimação, com propriedades de suavização do fenômeno, contabiliza o número total de pontos contidos dentro de uma região de influência que possui raio de tamanho τ .

A definição formal do estimador *kernel* é apresentada a seguir. Dados u_1, u_2, \dots, u_n como sendo o conjunto de localizações de n eventos observados em um região A e que u

representa uma localização genérica cujo valor deseja-se estimar. A intensidade pode ser estimada, através da fórmula geral do estimador de intensidade:

$$\hat{\lambda}_{\tau}(u) = 1/\tau^2 * \sum_{i=1}^n k(d(u_i, u)/\tau)$$

Onde $d(u_i, u)$ é a distância entre o ponto u a estimar e a posição da observação u_i do evento, a qual deve ser menor ou igual ao raio τ , ou seja, $d(u_i, u) \leq \tau$. Verifica-se ainda que o estimador *Kernel* depende de dois parâmetros: o raio de influência τ (que é definido pelo analista) e a função k de estimação com propriedades de suavização do fenômeno. No Estimador de Densidade por *Kernel* do SPRING, a função de interpolação utilizada para k é (BAILEY e GATRELL, 1995):

$$K(h) = 3/\tau(1-h^2)^2$$

Onde h é a distância entre a localização u a ser estimada e os eventos observados - $d(u_i, u)$.

4. Discussão e Resultados

Nesta seção serão apresentadas as estratégias adotadas para seleção de locais candidatos a posicionamento de viaturas policiais. O estudo foi realizado na cidade de João Pessoa, capital da Paraíba-Brasil, que possui 64 bairros, distribuídos em uma área territorial de 211 km². Os dados utilizados correspondem a 1.492 ocorrências de Crimes Contra o Patrimônio, cedidos pela Polícia Militar e registrados nos meses de janeiro e fevereiro de 2013, pelo Centro Integrado de Operações Policiais (CIOP). Na figura 1, visualiza-se a distribuição espacial dessas ocorrências, que dentre os crimes computados, estão: Roubo a Pessoa, Roubo em Transporte Coletivo, Roubo em Posto de Combustível, Furto em residência, Furto de veículos, extorsão, estelionato, dentre outros.

Os software de SIG utilizados na pesquisa foram: Google Maps (para obtenção das coordenadas geográfica - latitude e longitude, através de endereços e pontos de referência, das ocorrências e pontos de visibilidade), o MapInfo Professional, versão 7.0 (para gerar os mapas de pontos de ocorrências e mapas temáticos de locais candidatos) e o SPRING (para gerar mapas de *Kernel* e resolver o problema de p-medianas). Ainda foi empregado o algoritmo de clusterização *k-means*, existente no MatLab R2010b, versão 7.11.0.584, para gerar os centróides de cada k -cluster, os quais foram incluídos no mapa temático dos locais candidatos para posicionar viaturas.

O estudo visa auxiliar os gestores de segurança pública na adoção de políticas para redução e inibição da criminalidade, de forma eficiente e eficaz, com o emprego de viaturas policiais em locais estratégicos. Por isto, em todo o estudo levou-se em consideração as ocorrências dos crimes pontuados. Porém, antes da eleição dos pontos, buscou-se inicialmente verificar a existência de *hotspots* de crimes cujo resultado servirá de parâmetro para nortear as decisões na etapa seguinte que trata realmente da seleção do conjunto de locais candidatos, a qual ocorrerá por meio de três estratégias: decisão do gestor de alto escalão, modelo de P-medianas e *k-means*.

4.1. Identificação de *Hotspots*

Uma das técnicas utilizadas para o combate da criminalidade tem sido o delineamento das chamadas zonas quentes de criminalidades (*hotspots*) ou áreas com grandes concentrações de crimes (BEATO, 2008). Os *hotspots* são pequenas áreas com intensidades elevadas de criminalidade. Tipicamente, representam cinco por cento ou menos da área de uma cidade, mas que concentram um percentual em torno de 50 por cento ou mais dos crimes (CHAINNEY et al, 2008; WEISBURD et al, 2004; WEISBURD et al, 2011). Desta forma, estas zonas quentes devem ser vistas como bons alvos para a prevenção de crimes (GORR et al, 2012). Identificar essas áreas pode ajudar a polícia a direcionar os esforços nos locais onde são mais necessários, otimizando desta forma, o efeito da presença da força policial. Além do mais, estudos experimentais, em Braga (2005), têm mostrado considerável redução da criminalidade quando as

polícias atuam nessas áreas de criminalidade, direcionando mais recursos operacionais e táticas inovadoras para o enfrentamento ao crime. Identificar *hotspots*, significa encontrar clusters ou aglomerados de crimes, numa distribuição espacial do fenômeno.

Para verificação de *hotspots* de crimes, utilizou-se o arquivo contendo as coordenadas geográficas das ocorrências de Crimes Contra o Patrimônio da figura 1, o qual foi importado para o SPRING, no modelo de dados cadastral. Com o estimador de densidade *Kernel* foi gerada a superfície de intensidade, representada na figura 2. Por simples inspeção visual, claramente, é possível identificar a presença de um *hotspots* crônico (GORR et al, 2012) de crimes, no Centro da cidade e um outro em menor intensidade, nas proximidades dos bairros Manaíra e Tambaú. De acordo com GORR et al (2012), registra-se *hotspot* crônico em áreas comerciais, nas quais é maior a concentração de pessoas que lá vão, temporariamente, por questões de trabalho ou negócio, mas não moram. Deste modo, o mapa de *kernel* da figura 2 sugere que, dentre os 64 bairros de João Pessoa, o Centro requer a presença de um número maior de viaturas para a prevenção e inibição da incidência de Crimes Contra o Patrimônio, naquela região. Assim como, nas proximidades de Manaíra e Tambaú, bairros de concentração maior de turistas e com população de renda mais elevada, quando comparados a outros bairros, a exemplo do Centro.

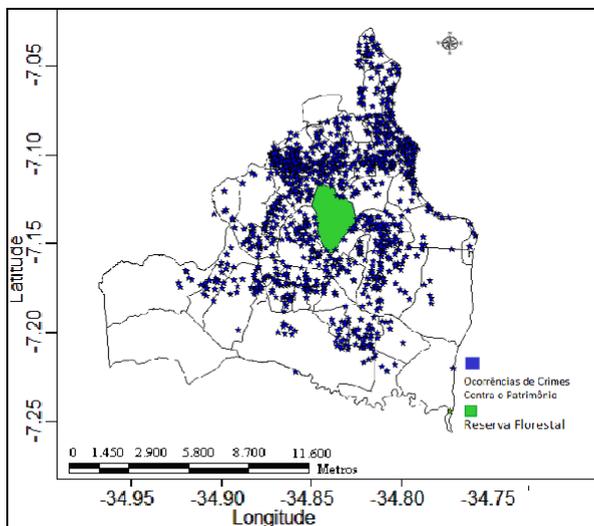


Figura 1 - Distribuição espacial de Crimes Contra o Patrimônio

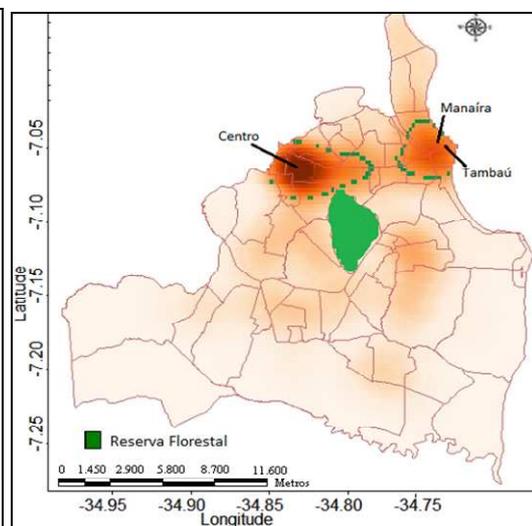


Figura 2 - Mapa de *Kernel* com *Hotspots*

Como o mapa de *Kernel* não quantifica (figura 2), não resolve o problema, apenas aponta aonde o fenômeno apresenta maior concentração, cabe ao gestor investigar melhor o problema naquela área, adotando medidas táticas e operacionais. Deste modo, após ter noção geral do comportamento do fenômeno criminal na cidade, segue-se para a etapa de eleger locais candidatos, conforme estratégias adotadas.

4.2. Estratégias para Seleção de Locais Candidatos

As estratégias adotadas para seleção de pontos candidatos foram: decisão do gestor de alto escalão, *p*-medianas e *k-means*. Essas três estratégias foram utilizadas, de forma paralela e complementar, justo porque as soluções apontadas por cada uma delas farão parte do conjunto universo composto por 78 locais candidatos, de modo que cada uma das estratégias irá contribuir com 26 pontos, no modelo proposto para localização de viaturas policiais.

4.2.1. Decisão do gestor de alto escalão

A decisão locacional de viaturas, aprovada pelo Comandante Geral da Polícia Militar, foi traduzida no Plano de Operação intitulado Ponto de Visibilidade Operacional (POVO) que tem como meta a redução em 10% (dez por cento) dos Crimes Violentos Letais Intencionais (CVLI) e de Crimes Violentos Contra o Patrimônio (CVP). A atividade operacional para

implementação do plano POVO se revela no posicionamento de viaturas operacionais em logradouros públicos, considerados pontos de visibilidade operacionais e estratégicos, da cidade de João Pessoa. Dentre os objetivos, considerados prioridade de comando, que influenciaram na escolha dos 26 locais geográficos na capital paraibana para posicionar viaturas operacionais, cita-se: inibição da criminalidade (através da demonstração de força), proporcionar sensação de segurança em locais de maior movimentação de pessoas e servir de ponto de referência ao cidadão que necessitar dos serviços da Polícia Militar, em eventuais situações de emergência.

De posse da relação dos pontos de visibilidade eleitos pelo gestor (com endereço e ponto de referência), foram geradas as coordenadas geográficas no Google Maps. Em seguida, no MapInfo, as localidades foram georreferenciadas, gerando-se os 26 pontos de visibilidade operacional (POVO) apontados na figura 3. Verifica-se que a concentração maior de pontos (20), o equivalente a 77%, se encontra na zona norte da capital paraibana.

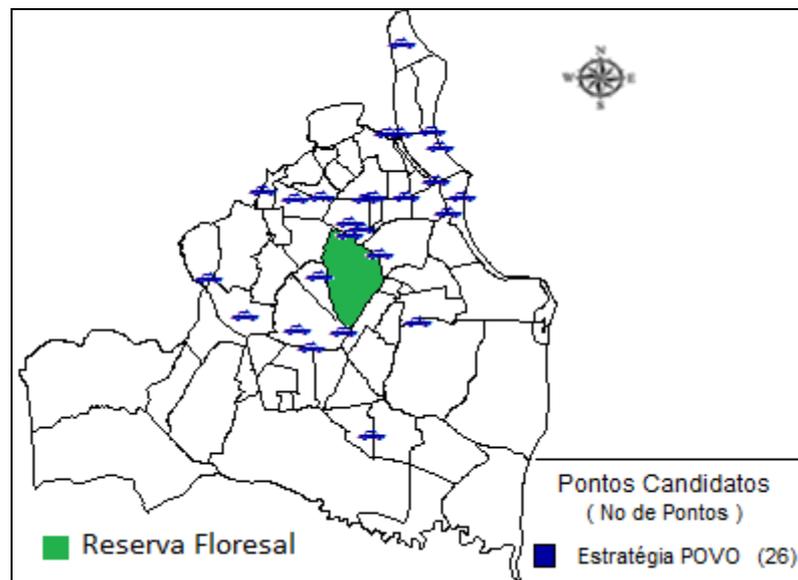


Figura 3 - Mapa de Distribuição dos Pontos POVO

4.2.2. Modelo de p-mediana

Em Mitchell (1972), verifica-se uma aplicação testada em Anaheim, Califórnia-EUA, que utiliza o modelo de p-medianas com o propósito de minimizar a distância total percorrida por uma patrulha policial para atender chamadas emergenciais. Por outro lado, Bandyopadhyay (2012) aborda o problema de p-medianas para determinar localizações de facilidades emergenciais, após a identificação de *hotspots*. Enquanto, Curtin et al (2010) enfatizam que o problema de p-medianas pode ser melhor empregado para segmentação dos *hotspots* de crime. Já Lorena (2001) relatou a efetividade do modelo de p-mediana integrado ao SPRING, para situar facilidades, em "algum tipo de atividade", o que motivou o uso desta ferramenta, na fase de seleção de locais candidatos a posicionamento de viaturas policiais. Diante desse contexto e com base no estudo de Lorena et al (2001), optou-se pelo algoritmo de problema de p-medianas integrado no SPRING, como estratégia para também se eleger pontos candidatos. Levando em consideração, que na estratégia anterior foram definidos 26 pontos de visibilidade, decidiu-se também adotar este quantitativo no problema de P-medianas.

Desse modo, de posse das ocorrências de crimes no formato de dados cadastral, através da opção Localização de Medianas, no menu Cadastral do SPRING localizou-se 26 medianas, cujos centróides estão apresentados na figura 4, em forma de círculos. Para o cálculo das medianas foi utilizada a distância linear proposta pelo modelo.

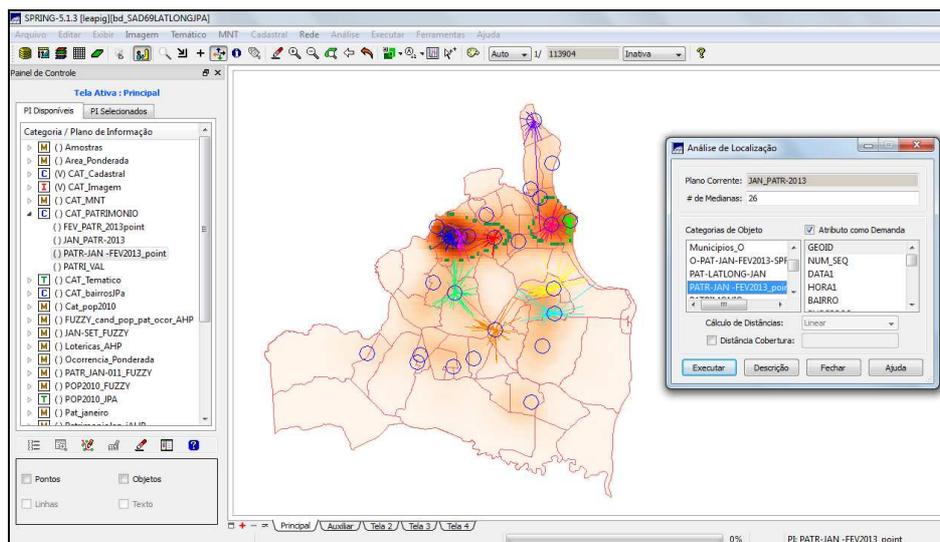


Figura 4 - Mapa de 26-medianas geradas no SPRING

No Centro da cidade, área onde se registrou um *hotspots* crônico, foram geradas 4 medianas, o que corresponde a quatro locais candidatos para posicionar viaturas naquela área.

4.2.3. Uso da técnica de agrupamento *k-means*

De acordo com Oliveira(2012), o problema de localização de k facilidades pode ser sintetizado em localizar os k centróides no plano, de modo que o problema de posicionar facilidades pode ser resolvido de uma maneira relativamente rápida pelo método *k-means*. Sendo assim, os centróides gerados pelo *k-means*, nesta abordagem, serão também considerados como locais candidatos para situar viaturas. Para tanto, como nas duas estratégias anteriores, também serão definidos 26 pontos candidatos (centróides) para contribuírem com a solução final. Deste modo, para gerar os 26 centróides utilizou-se o algoritmo *k-means* do Matlab. A matriz de entrada de dados é formada pelas coordenadas (latitude e longitude) das ocorrências de Crimes Contra o Patrimônio apresentadas na figura 1. O método utilizado para escolher as posições iniciais dos centróides foi o *default sample*, o qual inicialmente seleciona randomicamente k observações do conjunto de entrada. Admitiu-se 10 repetições de clusterização, de maneira que em cada uma delas, o *k-means* gerava um novo conjunto de posições iniciais dos centróides. A solução final gerada pelo *k-means*, contendo 26 clusters e respectivos centróides, está exibida na figura 5.

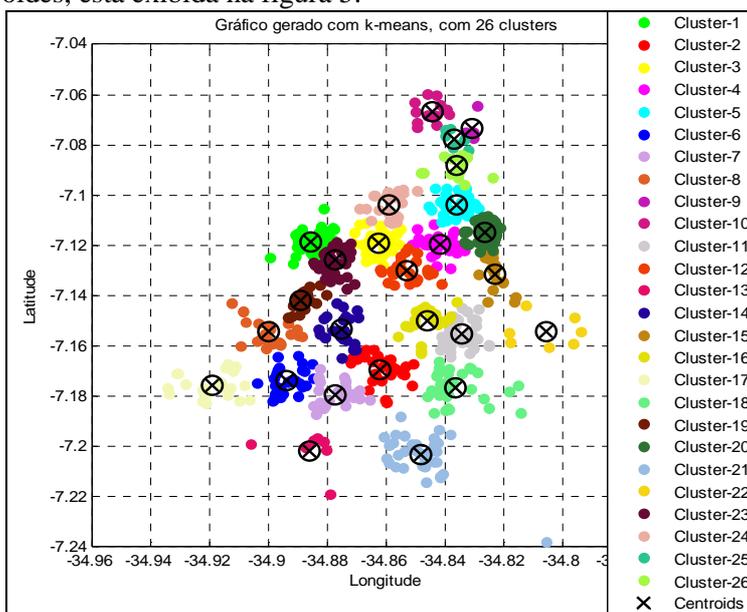


Figura 5 - Distribuição de 26 clusters e respectivos centróides

Verifica-se que ao contrário dos pontos gerados pela estratégia P-medianas, na qual os 26 pontos candidatos foram eleitos do próprio conjunto de crimes georreferenciados, na estratégia *k-means*, pela própria característica do método, nenhum dos 26 centróides coincidiram com qualquer posição do conjunto de ocorrências (figura 1), a exemplo do centróide-22 da figura 5. No entanto, é representativa a solução do *k-means*, pois no contraponto do mapa da distribuição espacial dos crimes, percebe-se que a geração dos 26 centróides foi, na maioria, em locais onde ocorreu a maior concentração de crimes. Nota-se ainda nas zonas de *hotspots*, a presença de 2 centróides no Centro e 1 nas proximidades de Tambaú e Manaíra.

4.3 Locais candidatos

O resultado final da seleção de locais candidatos corresponde ao conjunto composto por 78 posições geográficas, fruto do somatório dos 26 pontos gerados em cada uma das três estratégias declaradas: decisão do gestor, P-medianas e *k-means*. No mapa temático da figura 6, verifica-se os 78 locais candidatos a situar viaturas policiais, distribuídos, na grande maioria, em posições distintas, ocupando uma área de maior abrangência na cidade de João Pessoa. Nota-se ainda que adotando estratégias diferenciadas, os locais eleitos assumem posições diversas, incorporando as vantagens e características de cada método: experiência do gestor, similaridade das ocorrências dentro de cada cluster e a menor distância entre a demanda e a respectiva facilidade. A seleção de locais candidatos é um processo crucial, porque o conjunto de pontos eleitos vai refletir diretamente na qualidade da solução do modelo formulado para localização de viaturas operacionais.

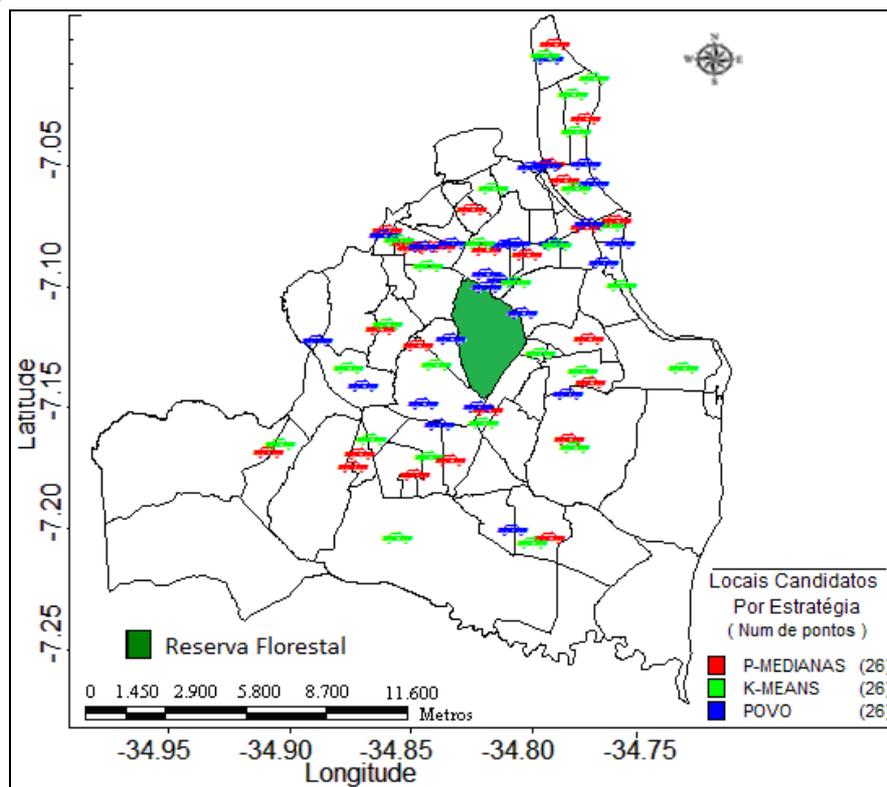
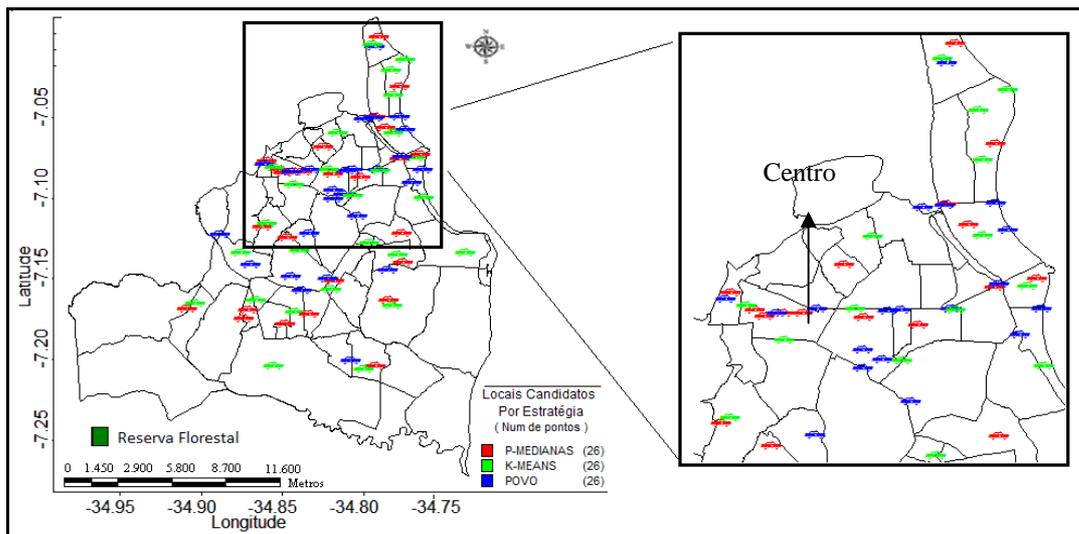


Figura 6 - Distribuição do conjunto de pontos candidatos selecionados

Observa-se ainda que na área do Centro, onde foi identificado *hotspots* crônico, foram eleitos 8 pontos para posicionamento de viaturas (figura 7), caracterizando a eficiência do emprego de mais de uma estratégia, para seleção de pontos candidatos. Porém, esta avaliação só foi possível com a identificação prévia da zona quente de criminalidade, naquele bairro. Caso contrário, não haveria parâmetros de comparação e avaliação da qualidade dos pontos eleitos, para situar viaturas com prioridade, em locais de maior concentração de crimes, visando inibir e reduzir a incidência naquela localidade.



Figura

7 - Distribuição de pontos candidatos, enfatizando o Centro

5. Conclusão

O conjunto de locais candidatos tem grande influência sobre a solução final apresentada por um modelo de localização de facilidades. Sendo assim, o uso de estratégias variadas para eleger tais locais é muito importante, porque os pontos tenderão apresentar características diferenciadas e ocupar maior abrangência espacial. Nesta pesquisa, 78 pontos candidatos foram selecionados, através de três estratégias distintas: decisão do gestor, modelo de p-medianas e método de clusterização *k-means*. Além da determinação do conjunto de locais candidatos ao posicionamento de viaturas policiais, é preciso avaliar a eficiência e eficácia dos pontos sugeridos, verificando se cobrirão também as áreas com *hotspots* de crimes, identificados previamente. O uso de SIG foi fundamental no georreferenciamento das ocorrências, na visualização da distribuição dos pontos candidatos, assim como na identificação de *hotspots* de crimes e resolução do problema de p-medianas.

Na Polícia Militar, atualmente, não existem pontos definidos para situar viaturas no policiamento ordinário, (excluindo o POVO), de modo que as unidades móveis quando lançadas, podem assumir, conforme decisão do comandante da guarnição ou do CIOP, quaisquer locais do setor (área geográfica composta por um ou mais bairros). Neste sentido, esta pesquisa poderá auxiliar gestores de segurança pública, a oferecer um serviço com eficiência e eficácia, através de sugestão de posicionamento otimizado de viaturas, para prevenção e redução da criminalidade, em bairros da capital paraibana.

Por fim, o conjunto de locais candidatos, registrado nesta pesquisa, será utilizado no modelo matemático probabilístico que será formulado com objetivo de localizar viaturas policiais para atender o máximo de pessoas, em um intervalo de tempo aceitável.

Referências

- Bailey, T. C. Gatrell, A. C.** (1995), *Iterative Spatial Data Analysis*. Essex, Longman scientific & technical.
- Bandyopadhyay, M. Pratap, M.** (2012), Singh Spatial Pattern Analysis for finding Weighted Candidate Set for p-median Problem in Locating Emergency Facilities. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*. Volume 2.
- Beato, C. Assunção, R. Andrade, M V e outros.,** *Compreendendo e Avaliando: Projetos de Segurança Pública*. Editora UFMG. Belo Horizonte. MG. 2008.
- Braga A.A.**(2005), Hot spots policing and crime prevention: A systematic review of randomized controlled trials. *Journal of Experimental Criminology* 1:317–342.
- Câmara, G., Carvalho, Marília S.** (2004), *Análise Espacial de Evento*. In: Druck, S. Carvalho, M.S. Câmara, G. Monteiro, A.V.M., Eds, *Análise Espacial de Dados Geográficos*. EMBRAPA,, Brasília. ISBN: 85-7383-260-6.

- Câmara, G. Casanova, M. A.**, *Bancos de Dados Geográficos*. Curitiba. MundoGEO. 2005.
- Chainey, S. Tompson, L. Uhlig, S.** (2008), The utility of Hotspot Mapping for Predicting Spatial Patterns of Crime. *Security Journal*, 21:4–28.
- Costa, C. M. P.** (2010), Localização Ótima do Futuro Hospital de Sintra : Aplicação de Modelos de Location-Allocation no Planeamento de Cuidados de Saúde. Instituto Superior de Estatística e Sistema de Informação. Universidade Nova de Lisboa. Portugal.
- Curtin, K. Hayslett-McCall, K. L. Qiu, F.** (2010), Determining Optimal Police Patrol Areas with Maximal Covering and Backup Covering Location Models, *Networks and Spatial Economics*, v.10, n.1, 125-143.
- Gorr, W L. Lee, Y J.**(2012), Longitudinal Study of Crime Hot Spots: Dynamics and Impact on Part 1 Violent Crime. *Presented at the: 32nd International Symposium on Forecasting*, Boston, USA.
- Hair, J. F. Rolph, A. E. Tatham, R. L. Black, W. C.** *Análise Multivariada de Dados*, 5 ed, Bookman, Porto Alegre, Brasil, 2005.
- Hakimi, S. L.**(1964), Optimal locations of switching centers and the absolute centers and medians of a graph, *Operation Research.*, n. 12, p 450-459.
- Kaveh, P. Zadeh, S. A. Sahraeian, R.** (2010), Solving Capacitated P-median Problem by Hybrid K-means Clustering and FNS Algorithm. *International Journal of Innovation, Management and Technology. Proceedings of the 2010 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, Dhaka, Bangladesh, v. 1, n. 4.
- Lorena, L. A. N., Senne, E. L. Paiva, J. A.**(2001), Integração de modelos de localização a sistemas de informações geográficas. *Integration of location models to geographical information systems*, *Gestão & Produção*, São Carlos, v.8, n.2.
- Lorena, L. A.N.** (2003), Análise Espacial de Redes com Aplicações em Sistemas de informações Geográficas, INPE, São José dos Campos, (www.lac.inpe.br/~lorena/producao/Analiseredes.pdf, 4, 2013).
- MacQueen, J. B.** (1967), Some Methods for Classification and Analysis of Multivariate Observations, *In: Cam, L.M. L. Neyman, J., editors, Proceedings of the fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*, University of California, USA, v.1, p. 281–297.
- Mahajan, M. Nimbhorkar, P. Varadarajan, k.** (2009), *The Planar k-Means Problem is NP-Hard*. In: Das, S. Uehara, R., editors, WALCOM: Algorithms and Computation, Lecture Notes in Computer Science, Kolkata, India, volume 5431, p. 274–285.
- Mapa, S. Lima, R. Mendes, J.**(2006) Localização de instalações com o auxílio de Sistema de Informações Geográficas (SIG) e Modelagem Matemática, *XXVI ENEGEP*. Fortaleza. Brasil.
- Mitchell, P.** (1972), Optimal selection of police patrol beats, *J Crim Law Criminol Police Sci* 63:577–584.
- Oliveira, M G.** (2012), Sistema de Localização de Facilidades: Uma abordagem para mensuração de pontos de demanda e localização de facilidades, *Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Instituto de Informática da Universidade Federal de Goiás.*, Goiânia, GO, Brasil.
- Pizzolato, N. D. Raupp, F. M. P. Alzamora, G. S.**(2012), Revisão de desafios aplicados em localização com base em modelos da p-mediana e suas variantes, *SOBRAPO*, Rio de Janeiro, Brasil. v.4, n.1, p. 13-42.
- ReVelle, C. S. Eiselt, H.A.** (2005), Location analysis: A synthesis and survey. *European Journal of Operational Research*, 165. 1–19.
- SPRING - Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas**, INPE, São José dos Campos, SP, <http://www.dpi.inpe.br/spring>, 1998.
- Weisburd, D. L. Bushway, S. Lum, C. Yang, S.** (2004), Trajectories of crime at places: a longitudinal study of street segments in the city of Seattle, *Criminology*, 42:283–321.
- Weisburd, D. L. Groff, E. R. Morris, N.**(2011), *Hotspots of juvenile crime: Findings from Seattle*. National Institute of Justice, Washington, District of Columbia. USA.