

LOCALIZAÇÃO DE BASES POLICIAIS: UMA PROPOSTA USANDO BUSCA TABU E PATH RELINKING

André Morais Gurgel

Universidade Federal de Pernambuco
Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n - Cidade Universitária. CTG. 5º Setor Administrativo
andmgurgel@gmail.com

Rodrigo José Pires Ferreira

Universidade Federal do Rio Grande do Norte
UFRN - Caixa Postal 1551, Lagoa Nova, Centro de Tecnologia, Sala, 48 - Natal – RN.
rodjpf@gmail.com

Dario José Aloise

Universidade Federal do Rio Grande do Norte
UFRN - Caixa Postal 1551, Lagoa Nova, Centro de Tecnologia, Sala, 48 - Natal – RN.
aloisedj@gmail.com

Caroline Maria de Miranda Mota

Universidade Federal de Pernambuco
Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n - Cidade Universitária. CTG. 5º Setor Administrativo
carol3m@gmail.com

RESUMO

Com intuito de reduzir a violência, a polícia serve a sociedade na tentativa de combater crimes. A localização de bases policiais é uma decisão estratégica que pode afetar a eficiência da operação policial em termos de tempo de atendimento e custos. Entretanto, os custos fixos e de operação policiais se tornam restritivos. Baseado na modelagem das p-medianas, foi proposta uma estratégia de combinação da metaheurística Busca Tabu com reconexão por caminhos (path relinking). Diante da problemática da segurança pública de reduzir a violência, este artigo realizou uma aplicação numérica na Polícia Militar da Cidade do Natal objetivando encontrar pontos ótimos para a alocação de postos policiais.

PALAVRAS-CHAVE: Busca Tabu. Reconexão por Caminhos. Segurança Pública, Outras Aplicações (OA).

ABSTRACT

In order to reduce the violence, the police serve the society trying to combat crimes. Location of police units is a strategic decision that can affect operations efficiency in terms of service time and costs. However, operations and fixed costs are restrictive. Based on p-median modeling, it was proposed a strategic combination of Tabu search metaheuristics and path relinking. In face of public safety problematic of reduce the violence, this paper carried out a numerical application in police of Natal whose objective was to achieve optimal location of police units.

Keywords: Tabu Search. Path Relinking. Public Safety. Other applications in OR.

1. Introdução

A utilização de métodos e técnicas da pesquisa operacional (PO) são ferramentas importantes na solução de problemas de engenharia e de planejamento. Tais ferramentas encontram aplicação crescente nos diversos setores da economia. No setor público, tem-se aplicações nos serviços de saúde (SORENSEN & CHURCH, 2010; BUDGE et al., 2009), educação (PIZZOLATO et al., 2004; PIZZOLATO et al. 2004), segurança (CURTIN et al., 2007; TAYLOR & HUXLEY, 1989; KORT et al., 1998) e outros (LARSON, 2002).

A violência no Brasil vem aumentando continuamente desde a década de oitenta. 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 causas externas (acidentes e violência). Enquanto isso na Europa Ocidental as taxas são de menos de 3 mortes a cada 100 mil habitantes. (SOUZA & LIMA, 2006).

Neste contexto, este trabalho busca propor uma metodologia para aumentar a eficiência da operação policial reduzindo o tempo de deslocamento de viaturas através da determinação da localização de bases de operação.

Modelos de localização de instalações têm por objetivo determinar a posição geográfica de ativos que permanecerão imobilizados por um longo período. Para determinar a localização ideal existem diversas abordagens, conforme observado em Revelle & Elsel (2006).

O modelo das p -medianas, proposto inicialmente por Hakimi(1964) e Hakimi(1965), busca localizar p instalações (denominadas medianas) em uma rede, de modo a minimizar a soma das distâncias de cada nó de demanda à sua mediana mais próxima. Tal modelo é caracterizado como um problema de otimização combinatória e foi reconhecido, por Cornuejols et al. (1977), como um problema *NP-Hard*. Devido a esta complexidade, a utilização de metaheurísticas, tais como a Busca Tabu, tornou-se uma estratégia eficiente de encontrar boas soluções (ALP et al., 2003).

Baseado na modelagem das p -medianas, foi proposta uma estratégia de combinação da metaheurística Busca Tabu com reconexão por caminhos (*path relinking*). Com intuito de avaliar o desempenho desta estratégia de busca utilizou-se a biblioteca ORLIB, desenvolvida por Beasley(1985). Diante da problemática da segurança pública de reduzir a violência, este trabalho realizou uma aplicação numérica na Polícia Militar da Cidade do Natal objetivando encontrar pontos ótimos para a alocação de postos policiais.

2. Busca Tabu com Reconexão de Caminhos

A Busca Tabu foi proposta por Glover (1986) utilizando como referência a aleatorização controlada do *Simulated Annealing* permitindo assim o escape do ótimo local, mas utilizando um algoritmo determinístico. Em um trabalho similar Hansen(1986) desenvolveu um método denominado de “*steepest ascent/mildest descent*”(TALBI, 2009).

A Busca Tabu é uma metaheurística que guia uma heurística de busca local de modo que não se obtenha apenas um ótimo local utilizando-se de estratégias de memória adaptável e comportamento de busca mais flexível que permitem assim encontrar soluções mais próximas ao ótimo. A utilização de memórias adaptativas é o diferencial deste tipo de método de resolução (GLOVER & LAGUNA, 1997; JAMES et al., 2009).

O *path relinking* é um método de intensificação definido como uma maneira de explorar regiões consideradas promissoras, mas ainda não exploradas pela busca, estabelecendo trajetórias entre soluções já conhecidas. Pode ser utilizado como um método para integrar estratégias de diversificação e intensificação (GLOVER et al., 2003; HO & GENDREAU, 2006).

A idéia fundamental por trás dessa estratégia é que boas soluções possuem características semelhantes. No caso das p -medianas, segundo Santos et al.(2007), a Reconexão por Caminhos gera caminhos partindo de uma solução corrente até uma solução guia, gerando soluções a cada iteração pela introdução dos atributos mais aprimorantes da solução guia na

corrente, conforme ilustrado na Figura 1.

Por isto, a Reconexão por Caminhos muitas vezes pode ser interpretada como um método evolucionário, em que as soluções são geradas através da combinação dos elementos de outras soluções permitindo a inclusão de atributos de soluções de alta qualidade. Esta estratégia gera a possibilidade de encontrar soluções melhores que as normalmente encontradas em uma busca convencional.

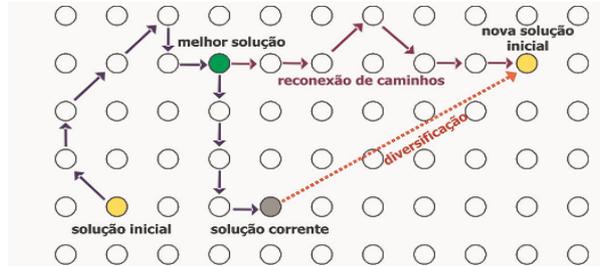


Figura 1: Representação esquemática de uma reconexão de caminhos para o problema de localização de instalações

Desta forma, é possível que a realização da Reconexão por Caminhos encontre soluções melhores. Entretanto, ela pode também resultar em soluções que não sejam melhores que a solução inicial e a guia, mas que podem gerar melhores soluções fazendo busca a partir dela.

O problema das p -medianas é um problema clássico que, segundo Beasley (1985), consiste em localizar p instalações (denominadas medianas) em uma rede, de modo a minimizar a soma das distâncias de cada nó de demanda à sua mediana mais próxima. Esse problema tem grande importância prática como, por exemplo, na localização de antenas de telecomunicação, de roteadores wireless, pontos estratégicos para localização de ambulâncias, localização de centros de distribuição e pontos base para as viaturas policiais.

Segundo Jamshidi(2009), o problema de p -medianas busca a localização de p instalações em uma rede buscando um custo total mínimo, mas que cubra todos os pontos que possuam clientes com demanda. Tendo-se como representação matemática:

X_{ij} : é igual a 1 se a demanda do nó i é coberta pela instalação que tenha sido inserida no nó 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} é zero 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:

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

sujeito a:

$$\sum_j X_{ij} = 1 \quad \forall i \quad (2)$$

$$\sum_j Y_j = P \quad (3)$$

$$X_{ij} \leq Y_j \quad \forall i, j \quad (4)$$

$$X_{ij}, Y_j \in \{0,1\} \quad \forall i, j$$

Neste problema se busca a minimização do custo total. A Equação 2 define que cada nó de demanda seja servido por uma instalação apenas. A Equação 3 estabelece a quantidade exata de P pontos de instalação. A Equação 4 possibilita o encontro entre uma instalação aberta e os seus pontos de demanda respectivos.

Para este modelo das p-medianas utilizou-se uma estrutura de vizinhança baseada em troca de pontos de instalação (swap), proposta por Hansen & Mladenovic (1997). A vizinhança swap é definida da seguinte forma: sejam s_1 e s_2 duas soluções possíveis e distintas, elas são vizinhas quando se pode obter s_2 a partir da inserção de um elemento $v \notin s_1$ e remoção de um elemento $v' \in s_1$ e vice-versa. A implementação desta vizinhança foi feita como na implementação do algoritmo de Whitaker (1983) aplicada por Hansen & Mladenovic (1997).

A função objetivo foi calculada a partir da utilização de uma função denominada de *findOut()*, conforme explicitado em Resende et al. (2007) e observado no algoritmo abaixo:

Procedimento *findOut()*

Entrada

S : solução atual

f_i : candidato a inserção

φ_1 : facilidade mais próxima de f_i

φ_2 : facilidade mais próxima de f_i depois de φ_1

Saída

f_r : melhor candidato a remoção

profit : valor da melhora da troca de f_r por f_i

Início

```

1   gain := 0;
2   Para toda facilidade  $f$  pertencente a  $S$  faça
3   Início-Para
4       netloss( $f$ ) := 0;
5   Fim-Para
6   Para todo usuário  $u$  pertencente a  $S$  faça
7   Início-Para
8       //ganho se  $f_i$  está mais próximo de  $u$ 
9       Se  $d(u, f_i) \leq d_1(u)$  então
10      Início-Se
11          gain += [ $d_1(u) - d(u, f_i)$ ];
12      //perda se a facilidade associada a  $u$  é removida
13      Senão
14          netloss( $\varphi_1(u)$ ) +=  $\min\{d(u, f_i), d_2(u)\} - d_1(u)$ ;
15      Fim-Se
16  Fim-Para
17   $f_r := \operatorname{argmin}_{f \in S} \{ \textit{netloss}(f) \}$ ;
18  profit := gain - netloss( $f_r$ );

```

Fim-Procedimento

Neste caso, a função *profit()* é decomposta em dois componentes: *gain()* e *netloss()*. *Gain()* é a soma da melhoria dos clientes que estão mais próximos de f_i e *netloss()* é a perda provocada pela inserção de f_i : se a instalação mais próxima do usuário em questão for removida, haverá um aumento na função objetivo, pois agora ele estará se associando ou a φ_2 ou a f_i , ambos mais distantes do que φ_1 .

Como a complexidade da função *findOut()* é $O(n)$, cada iteração da busca será executada em $O(mn)$, pois a função será chamada para cada um dos $m - p$ candidatos à inserção levando assim a um tempo de processamento menor a cada iteração.

A Busca Tabu utilizada possui uma Lista Tabu de tamanho $2p/3$ (valor configurado através de testes). Foi utilizado como critério de diversificação 90 iterações sem melhora e o critério de parada foi configurado em 5 diversificações. Em cada diversificação, são removidos os $p/4$ elementos mais frequentes na solução e adicionados os $p/4$ menos frequentes.

O critério de aspiração utilizou-se do cálculo da função *profit()* para todas as soluções

presentes na Lista Tabu e a partir de uma função de ordenação *qsort()* obtém-se o ponto com maior valor. Após isto, é verificado se esta instalação leva a uma função objetivo melhor. Caso leve este vértice é alocado à solução, se não for permanece na Lista Tabu.

Os testes foram realizados em todas as instâncias disponíveis na ORLIB, desenvolvida por Beasley (1985) definindo-se o conjunto de localizações possíveis para facilidades como igual aos pontos definidos. Cada instância foi executada 20 vezes. O algoritmo foi implementado em C++ utilizando-se do compilador g++ e foram usados números pseudo-aleatórios criados pela função *rand()*. Os experimentos foram realizados num Core 2 Duo de 2.8GHz com 4 GBytes de memória RAM e sistema operacional Windows Vista.

A Busca Tabu utilizada possui uma Lista Tabu de tamanho $2p/3$ (valor configurado através de testes). Foi utilizado como critério de diversificação 90 iterações sem melhora e o critério de parada foi configurado em 5 diversificações. Em cada diversificação, são removidos os $p/4$ elementos mais frequentes na solução e adicionados os $p/4$ menos frequentes.

É necessário verificar o efeito da utilização das estratégias na busca pela melhoria das soluções, por isto fez-se uma análise utilizando-se de uma Busca Tabu sem nenhuma abordagem diferenciada, ou seja, sem utilizar nenhuma intensificação e diversificação, como pode ser verificado no Quadro 1.

Quadro 1: Valores encontrados pela Busca TABU sem utilização de diversificação

Valores Encontrados para a Função Objetivo sem Diversificação						
Nome da Instância	Nós	Instalações	Valor Ótimo	Conseguiu o Ótimo pelo menos 1 vez?	Percentual Médio Acima do Ótimo	Quantidade de Combinações Possíveis
pmed1	100	5	5819	SIM	0.00%	75287520
pmed2	100	10	4093	SIM	0.00%	1.73103E+13
pmed3	100	10	4250	SIM	0.00%	1.73103E+13
pmed4	100	20	3034	SIM	0.00%	5.35983E+20
pmed5	100	33	1355	SIM	0.00%	2.94692E+26
pmed6	200	5	7824	SIM	0.00%	2535650040
pmed7	200	10	5631	SIM	0.00%	2.2451E+16
pmed8	200	20	4445	SIM	0.00%	1.61359E+27
pmed9	200	40	2734	NÃO	0.40%	2.05016E+42
pmed10	200	67	1255	NÃO	0.80%	1.45395E+54
pmed11	300	5	7696	SIM	0.00%	19582837560
pmed12	300	10	6634	SIM	0.00%	1.39832E+18
pmed13	300	30	4374	NÃO	0.20%	1.73193E+41
pmed14	300	60	2968	NÃO	1.00%	9.0419E+63
pmed15	300	100	1729	NÃO	1.32%	4.15825E+81
pmed16	400	5	8162	SIM	0.00%	83218600080
pmed17	400	10	6999	SIM	0.00%	2.57981E+19
pmed18	400	40	4809	NÃO	0.08%	1.97034E+55
pmed19	400	80	2845	NÃO	0.80%	4.22814E+85
pmed20	400	133	1789	NÃO	1.13%	1.2579E+109
pmed21	500	5	9138	SIM	0.00%	2.55245E+11
pmed22	500	10	8579	SIM	0.00%	2.45811E+20
pmed23	500	50	4619	NÃO	0.20%	2.31442E+69
pmed24	500	100	2961	NÃO	0.50%	2.0417E+107
pmed25	500	167	1828	NÃO	1.75%	7.8521E+136
pmed26	600	5	9917	SIM	0.00%	6.37263E+11
pmed27	600	10	8307	SIM	0.00%	1.54527E+21
pmed28	600	60	4498	NÃO	0.20%	2.77427E+83
pmed29	600	120	3033	NÃO	0.70%	1.0062E+129
pmed30	600	200	1989	NÃO	1.75%	2.506E+164
pmed31	700	5	10086	SIM	0.00%	1.38067E+12
pmed32	700	10	9297	SIM	0.00%	7.29745E+21
pmed33	700	70	4700	NÃO	0.20%	3.37238E+97
pmed34	700	140	3013	NÃO	0.70%	5.0285E+150
pmed35	800	5	10400	SIM	0.00%	2.69668E+12
pmed36	800	10	9934	SIM	0.00%	2.79647E+22
pmed37	800	80	5057	NÃO	0.30%	4.1417E+111
pmed38	900	5	11060	SIM	0.00%	4.86629E+12
pmed39	900	10	9423	SIM	0.00%	9.13841E+22
pmed40	900	90	5128	NÃO	0.25%	5.1266E+125

Neste caso exposto no Quadro 1 percebe-se que as soluções ótimas para instâncias que alocam uma quantidade pequena de pontos para instalações (no máximo 33 itens). Isto decorre do caráter combinatório do problema, em que a quantidade de combinações possível cresce consideravelmente com o aumento no número de pontos a serem localizados.

Os tempos computacionais em todos os testes realizados não ultrapassaram um minuto de processamento, por isto não foram considerados críticos na resolução de um problema de segurança pública utilizado no planejamento das operações de médio e longo prazo.

Quando há a desconsideração das instâncias que já alcançaram resultados ótimos e aplica-se a diversificação para os problemas que não alcançaram estes valores verifica-se uma melhoria nos valores encontrados pelo modelo, conforme é apresentado no Quadro 2.

Quadro 2: Valores encontrados pela Busca TABU com a utilização de diversificação

Valores Encontrados para a Função Objetivo com Diversificação								
Nome da Instância	Nós	Instalações	Conseguiu o Ótimo pelo menos 1 vez?	Valor Ótimo	Percentual Médio Acima do Ótimo S/ Diversificação	Percentual Médio Acima do Ótimo C/ Diversificação	Percentual de Melhora	Quantidade de Combinações Possíveis
pmed9	200	40	SIM	2734	0.40%	0.06%	85.00%	2.05016E+42
pmed10	200	67	SIM	1255	0.80%	0.18%	77.50%	1.45395E+54
pmed13	300	30	SIM	4374	0.20%	0.08%	60.00%	1.73193E+41
pmed14	300	60	NÃO	2968	1.00%	0.30%	70.00%	9.0419E+63
pmed15	300	100	NÃO	1729	1.32%	0.96%	27.27%	4.15825E+81
pmed18	400	40	SIM	4809	0.08%	0.05%	37.50%	1.97034E+55
pmed19	400	80	NÃO	2845	0.80%	0.44%	45.00%	4.22814E+85
pmed20	400	133	NÃO	1789	1.13%	0.69%	38.94%	1.2579E+109
pmed23	500	50	SIM	4619	0.20%	0.10%	50.00%	2.31442E+69
pmed24	500	100	NÃO	2961	0.50%	0.28%	44.00%	2.0417E+107
pmed25	500	167	NÃO	1828	1.75%	1.18%	32.57%	7.8521E+136
pmed28	600	60	NÃO	4498	0.20%	0.15%	25.00%	2.77427E+83
pmed29	600	120	NÃO	3033	0.70%	0.35%	50.00%	1.0062E+129
pmed30	600	200	NÃO	1989	1.75%	1.16%	33.71%	2.506E+164
pmed33	700	70	SIM	4700	0.20%	0.08%	60.00%	3.37238E+97
pmed34	700	140	NÃO	3013	0.70%	0.39%	44.29%	5.0285E+150
pmed37	800	80	NÃO	5057	0.30%	0.19%	36.67%	4.1417E+111
pmed40	900	90	SIM	5128	0.25%	0.09%	64.00%	5.1266E+125

A reconexão de caminhos, conforme é visualizado no Quadro 3 melhora os resultados e permite encontrar soluções ótimas para todas as instâncias pelo menos uma vez. Além disso, entre 6% ~ 9% do tempo de CPU é gasto por esta estratégia o que demonstra a sua aplicabilidade sem uma grande perda de performance no modelo das p-medianas.

Quadro 3: Valores encontrados pela Busca TABU com a utilização de path relinking

Valores Encontrados para a Função Objetivo com Diversificação								
Nome da Instância	Nós	Instalações	Conseguiu o Ótimo pelo menos 1 vez?	Valor Ótimo	Percentual Médio Acima do Ótimo C/ Path Relinking	Percentual Médio Acima do Ótimo S/ Diversificação	Percentual Médio Acima do Ótimo C/ Diversificação	Quantidade de Combinações
pmed14	300	60	SIM	2968	0.80%	1.00%	0.30%	9.0419E+63
pmed15	300	100	SIM	1729	1.02%	1.32%	0.96%	4.15825E+81
pmed19	400	80	SIM	2845	0.60%	0.80%	0.44%	4.22814E+85
pmed20	400	133	SIM	1789	0.97%	1.13%	0.69%	1.2579E+109
pmed24	500	100	SIM	2961	0.44%	0.50%	0.28%	2.0417E+107
pmed25	500	167	SIM	1828	1.42%	1.75%	1.18%	7.8521E+136
pmed28	600	60	SIM	4498	0.15%	0.20%	0.15%	2.77427E+83
pmed29	600	120	SIM	3033	0.54%	0.70%	0.35%	1.0062E+129
pmed30	600	200	SIM	1989	1.43%	1.75%	1.16%	2.506E+164
pmed34	700	140	SIM	3013	0.52%	0.70%	0.39%	5.0285E+150
pmed37	800	80	SIM	5057	0.26%	0.30%	0.19%	4.1417E+111

O Gráfico 1 mostra um gráfico da concentração de melhoras na Reconexão por Caminhos por diversificação.

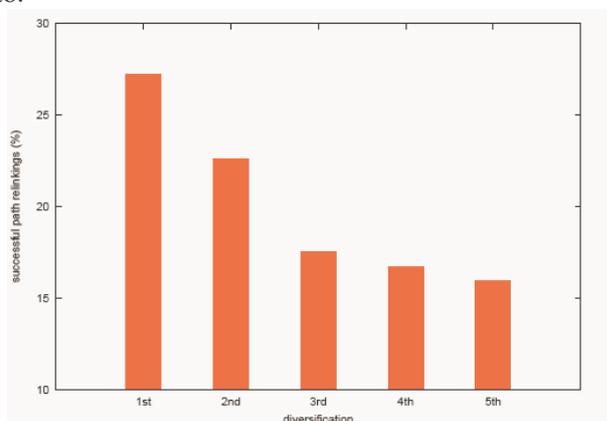


Gráfico 1: Melhoras na Reconexão por Caminhos por diversificação

É possível verificar, de acordo com o Gráfico 1, que as melhoras se concentram principalmente nas primeiras diversificações. Isto ocorre, pois há uma dificuldade em se achar soluções melhores a cada nova iteração realizada provocando assim uma redução na possibilidade de melhorias nas últimas fases do processo.

A partir da visualização dos Quadros 1, 2 e 3 concluí-se que se tem uma grande probabilidade de encontrar resultados próximos ao ótimo aplicando a Metaheurística Busca Tabu com a estratégia de reconexão de caminhos em problemas de segurança pública para localização de unidades policiais.

3. Aplicação do Modelo de Roteirização para Unidades Policiais

O modelo de Roteirização para Unidades Policiais (MRUP) 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.

Para que o modelo contemple a quantidade de ocorrências em cada ponto e a distância entre eles foi utilizado o modelo das p -medianas incluindo estas ocorrências como este peso na função objetivo. Para isto, aplicou-se este modelo na polícia militar da Cidade do Natal.

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.

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, conforme verificado na Figura 2.

Divisão Administrativa - NATAL

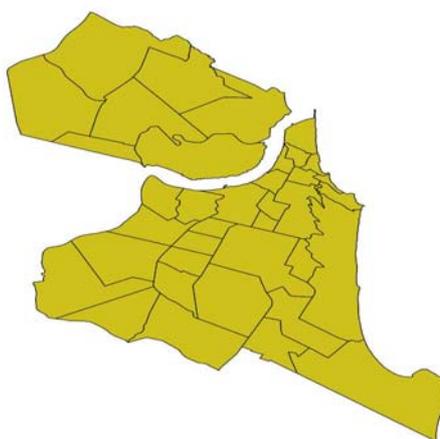


Figura 2: Mapa da Cidade do Natal dividido por Bairros

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 Motociclistas (ROCAM).

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.

Os dados fornecidos pelo CIOSP-RN (Centro Integrado de Operações de Segurança Pública do Rio Grande do Norte) foram o logradouro e quantidade de ocorrências. Por isto, softwares de informação geográfica foram utilizados para a obtenção das coordenadas X e Y utilizando-se do Universal Transverse Mercator (UTM). Este sistema tem como vantagem a utilização da unidade em metros facilitando assim a obtenção das distâncias entre os pontos formando assim uma matriz simétrica $n \times n$.

Atualmente existem trinta e uma unidades de policiamento dispostas em dezoito 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

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 2.

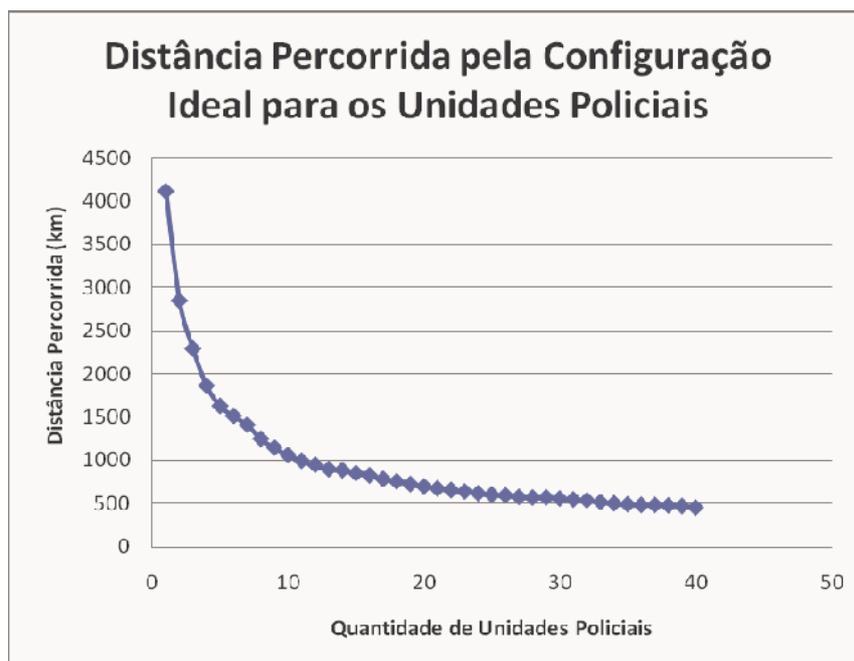


Gráfico 2: Distância percorrida por ronda realizada diariamente variando-se as unidades policiais pelo modelo MRUP

Como é possível observar no Gráfico 3 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 2 permite estimar a diferença entre a configuração atual e a ideal em 44%. Esta melhoria pode ser observada no Gráfico 3.

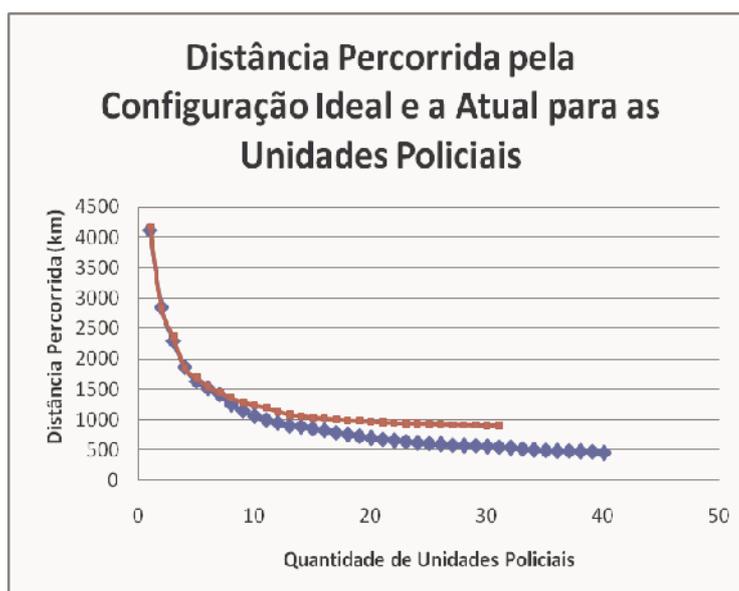


Gráfico 3: Comparação entre a situação atual e a encontrada pelo MRUP

Esta redução na distância percorrida é percebida também na Figura 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

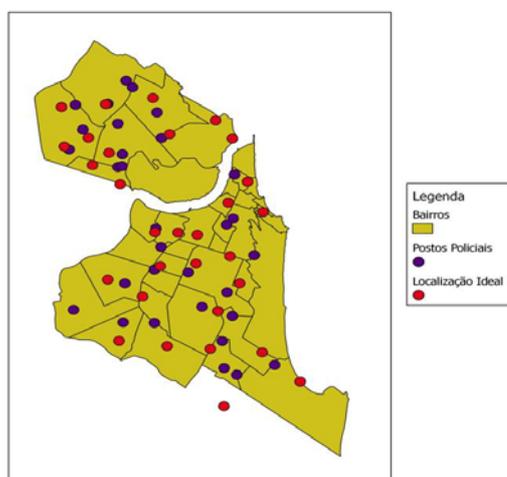


Figura 3: Comparação da Localização dos Postos Policiais em Natal atual e a Ideal

É possível observar, inclusive, na Figura 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 -medianas 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

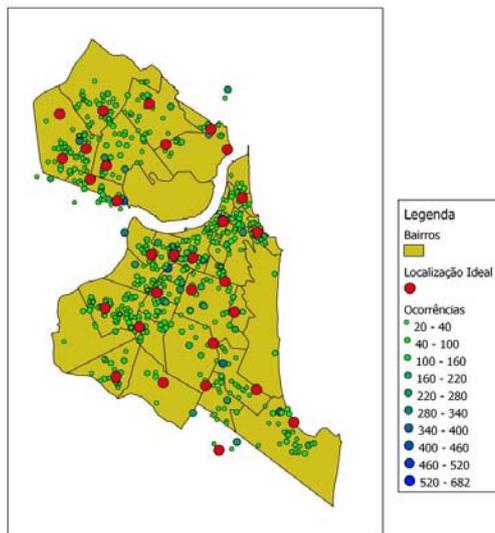


Figura 4: Distribuição Ideal dos Postos Policiais em Relação aos Pontos de Ocorrências

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 de importante para a melhoria da segurança pública, principalmente no Brasil, em que a violência cresce em proporções elevadas desde a década de 80 gerando sensação de insegurança e criando demanda da população por serviços que a atendam prontamente e as ajudem na redução desta mazela.

O presente estudo utilizando-se da metaheurística Busca Tabu com Reconexão de Caminhos fornece suporte ao decisor na alocação de unidades policiais em determinada região levando em consideração as suas características e peculiaridades.

A principal contribuição deste trabalho foi aplicar estratégias diferenciadas para metaheurísticas já existentes, ou seja, a utilização da Busca Tabu com Path Relinking no modelo das p-medianas. Além disto, aplicando os conhecimentos empíricos obtidos pela utilização da biblioteca ORLIB em uma aplicação prática da segurança pública, ou seja, a alocação das bases policiais.

Referências

- Alp, O., Erkut, E., Drezner, Z.** (2003), An Efficient genetic algorithm for the p-median problem, *Annals of Operations Research*, 122, 21-42.
- Beasley, J.** (1985), A note on solving large p-median problems. *European Journal of Operational Research*, 21, 270-273.
- Budge, S., Ingolfsson, A., Erkut, E.** (2009), Approximating Vehicle Dispatch Probabilities for Emergency Service Systems with Location-Specific, *Operations Research*, 57, 251-255.
- Cornuejols, G., Fisher, M. L., Nemhauser, G. L.** (1977), Location of Bank Accounts to Optimize Float: An Analytic Study of Exact and Approximate Algorithm, *Management Science*, 23, 789-810.

- Curtin, K. M., Hayslett-McCall, K., Qiu, F.** (2007), Determining Optimal Police Patrol Areas with Maximal Covering and Backup Covering Location Models, *Network and Spatial Economics*, 122, 21-42.
- Glover, F., Laguna, M.**, *Tabu Search*, Kluwer Academic Publishers, Boston, 1997.
- Glover, F., Laguna, M., Marti, R.**, Scatter Search and Path Relinking: Advances and Applications, F., G., G., K (Eds.), *Handbook of Metaheuristics*, Kluwer Academic Publishers, Boston, 219-249, 2003.
- Hakimi, S. L.** (1964), Optimum location of switching centers and the absolute centers and the medians. *Operations Research*, 12, 450-459.
- Hakimi, S. L.** (1965), Optimum distribution of switching centers in a communication network, *Operations Research*, 13, 462-475.
- Hansen, P.; Mladenovic, N.** (1997), Variable Neighbourhood search for the p-median, *Location Science*, 5, 207-226.
- Ho, S. C.; Gendreau, S.C.**, (2006), Path relinking for the vehicle routing problem, *Journal of Heuristics*, 12, 55-72.
- James, T.; Rego, C.; Glover, F.** (2009), Multistart Tabu Search and Diversification Strategies for the Quadratic Assignment Problem, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics - Part A: System and Humans*, 39, 579-596.
- Jamshidi, M.**, Median Location Problem, F., R. Z., H., M. (Eds.), *Facility Location: Concepts, Models, Algorithms and Case Studies*, Physica-Verlag, Berlin, 177-191, 2009.
- Kort, P. M. et al.** (1998), Optimal Enforcement Policies (Crackdowns) on a illicit Drug Market, *Optimal Control Applications & Methods*, 19, 169-184.
- Larson, R. C.** (2002), Public Sector Operations Research: a Personal Journey, *Operations Research*, 50, 135-145.
- Pizzolato, N. D. et al.** (2004), Localização de Escolas Públicas: Síntese de Algumas Linhas de Experiências, *Pesquisa Operacional*, 42, 111-131.
- Pizzolato, N. D.; Barcelos, F. B.; Lorena, L. A. N.** (2004), School Location Methodology in Urban Areas of Developing Countries, *International Transactions in Operational Research*, 11, 667-681.
- Revelle, C. S.; Elsel, H.** (2006), A. Location Analysis: A Synthesis and Survey, *European Journal of Operational Research*, 165, 1-19.
- Santos, R. A. M.; Aloise, D.; Aloise, D. J.** (2008), Uma Melhoria de Performance da Metaheurística Busca Tabu usando Reconexão por Caminhos: Estudo de Caso no Problema de Localização de Facilidades, *Anais do XI SPOLM*, 1-7.
- Sorensen, P.; Church, R.** (2010), Integrating expected coverage and local reliability for emergency medical services location problems. *Socio-Economic Planning Sciences*, 44, 8-18.
- Souza, E. R. D.; Lima, M. L. C. D.** (2006), The panorama of urban violence in Brazil, *Ciência e Saúde Coletiva*, 11, 363-373.
- Talbi, E.G.**, *Metaheuristics: From Design to Implementation*, Wiley, New Jersey, 2009.
- Taylor, P. E.; Huxley, S. J.** (1989), A Break from Tradition for the San Francisco Police: Patrol Officer Scheduling Using an Optimization-Based Decision Support System, *Interfaces*, 19, 4-24.
- Whitaker, R.A.** (1983), Fast Algorithm for the Greedy Interchange of Large-Scale Clustering and Median Location Problems, *INFOR*, 21, 95-108.