

USO DE GEOTECNOLOGIAS E PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA NA ALOCAÇÃO DE TORRES DE INCÊNDIOS

Ronie Silva Juvanhol

Universidade Federal do Espírito Santo – UFES
Avenida Governador Lindemberg, 316, Centro – CEP: 29550-000 – Jerônimo Monteiro-ES
ronie_juvanhol@hotmail.com

Evandro Ferreira da Silva

Universidade Federal do Espírito Santo – UFES
Avenida Governador Lindemberg, 316, Centro – CEP: 29550-000 – Jerônimo Monteiro-ES
evandroflorestal@gmail.com

Nilton Cesar Fiedler

Universidade Federal do Espírito Santo – UFES
Avenida Governador Lindemberg, 316, Centro – CEP: 29550-000 – Jerônimo Monteiro-ES
fiedler@pq.cnpq.br

Alexandre Rosa dos Santos

Universidade Federal do Espírito Santo – UFES
Alto Universitário, s/nº - Cx Postal 16, Guararema – CEP: 29500-000 – Alegre-ES
mundogeomatica@yahoo.com.br

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo alocar torres de incêndios de modo a minimizar a distância de observação da torre entre todos os locais de maior risco de incêndio na Reserva Natural Vale-ES. A lógica *Fuzzy* foi aplicada como técnica na modelagem para obtenção das áreas de risco. O processamento dos dados para a alocação das torres foi realizado no ArcGis® 10.2 utilizando o *Network Analyst*. O modelo de otimização aplicado foi representado pelo Problema de *P*-medianas e o Problema de Máxima Cobertura utilizando como restrição as distâncias de 5, 10 e 15km. Os modelos utilizados atenderam com eficiência a alocação das torres de incêndio e a quantidade ideal para visualização total da área. A modelagem analisada apresenta-se como uma opção viável para alocar torres de incêndios, tendo em vista o atendimento das demandas e possibilidade de análise de sensibilidade em relação ao número de facilidades a serem alocadas.

PALAVRAS CHAVE. Localização de Facilidades, Problema de *P*-medianas, Problema de Máxima Cobertura.

Área principal: AG&MA – PO na Agricultura e Meio Ambiente.

ABSTRACT

The present study aimed to allocate fire towers to minimize the distance of tower observation among all local higher risk of fire in the Reserve Natural Vale. The Fuzzy logic was applied as modeling technique to obtain the risk areas. The data processing for the allocation of the towers was performed in the ArcGis® 10.2 using the Network Analyst. The applied optimization model was represented by *P*-median Problem and the Maximum Coverage Problem using as restriction the distances of 5, 10 and 15km. The models used attended efficiently the allocation of towers of fire and the ideal amount for total viewing area. The modeling analyzed is presented as a viable option to allocate fire towers, in view of the attendance of demands and the possibility of sensitivity analysis in relation to the number of facilities to be allocated.

KEYWORDS. Facilities Location, *P*-median Problem, Maximum Coverage Problem.

Main area: AG&MA – OR in Agriculture and Environment.

1. Introdução

As florestas representam um dos maiores e mais importantes recursos naturais, desempenhando uma importante função na manutenção do equilíbrio do meio ambiente. Um fator de grande impacto na modificação do ambiente de florestas naturais ou reflorestamento é o fogo florestal, fator esse que tem grande potencial para alterar os ecossistemas naturais e representa uma grave ameaça à conservação das florestas. Santos (2006) destaca que grande parte das áreas protegidas, no Brasil, são ocasionalmente atingidas por incêndios florestais, tendo como principais agentes causadores do fogo a ação humana.

O estudo deste fenômeno e a análise de parâmetros que condicionam a sua ocorrência, distribuição espacial e temporal podem contribuir para o seu conhecimento e, desta forma, permitir a sua prevenção e diminuição das suas consequências.

A modelagem do risco de incêndio florestal, a qual ao reunir e integrar os parâmetros tidos como relevantes, permite identificar quais as áreas mais problemáticas servindo assim de suporte na discussão de ações que possibilitem a redução do risco numa perspectiva de prevenção. Por outro lado, permite ainda determinar o grau do risco de incêndios com base na sua localização, sendo assim um instrumento potencial de apoio na tomada de decisões, estratégias de combate e mitigação.

Nesse âmbito, estratégias de prevenção e combate nas áreas de risco de incêndios podem ser estabelecidas para direcionar recursos para tomadas de decisão. Determinar onde estes recursos serão alocados envolve alguns critérios que o configura em um problema de localização de facilidades. Segundo Arakaki (2002) estes problemas tratam a questão de onde localizar um objeto de interesse e o objetivo da solução é encontrar o melhor local ou locais para se ajustar uma ou mais instalações que farão o maior valor de utilidade de um critério ou vários critérios.

O termo facilidade nesta ocasião compreende as torres de observação para detecção do fogo que deverão ser alocadas em relação às áreas de maior risco ao incêndio florestal. A aplicação dos modelos de localização-alocação tem recebido considerável atenção por muitos pesquisadores. Arroyo e Marques (2006) estudaram o posicionamento de antenas de telecomunicações visando cobrir o maior número de pontos possíveis; Cardoso (2009) trabalhou a formação de grupos para posterior roteamento de veículos; Rosa (2011) propôs um reagrupamento por setores para realização de patrulha escolar e Oliveira et al. (2013) estudou o agrupamento de eleitores em zonas eleitorais.

Em áreas de grande extensão existe uma carência de informações adequadas para tomada de decisões a respeito do planejamento estratégico de recursos relacionados a solução ambientais. Para preencher tal lacuna, os instrumentos de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), permitem a realização de análises complexas ao integrar dados de diversas fontes e criar bancos de dados georreferenciados (Assad e Sano, 1998).

O SIG representa uma importante ferramenta de manipulação de dados geográficos que aliados a programação matemática resulta na combinação sinérgica de funções de visualização e análise espacial, sendo assim o modelo de localização-alocação uma poderosa ferramenta para suporte de decisão espacial.

A hipótese básica para o problema de pesquisa é de que técnicas de pesquisa operacional aliadas ao SIG podem contribuir para o planejamento estratégico do combate e prevenção de incêndios florestais, possibilitando a alocação ótima de torres de incêndio em função das áreas de maior risco, minimizando as distâncias de observação e assim contribuir para uma detecção mais efetiva de possíveis incêndios florestais, resguardando dessa forma os recursos naturais.

Diante do exposto, o estudo tem como objetivo a aplicação do modelo de *P*-mediana e de Máxima Cobertura para alocar torres de observação de modo a minimizar a distância de observação da torre entre todos os locais de maior risco de incêndio.

O restante do trabalho está estruturado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta os materiais e métodos, em detalhes a descrição da área de estudo e a metodologia adotada para a alocação das torres de observação; na Seção 3 é apresentado os resultados e discussão dos modelos de *P*-mediana e Máxima Cobertura estudados, e as conclusões são descritas na Seção 4.

2. Materiais e Métodos

2.1. Área de estudo

Reconhecida como Patrimônio Natural da Humanidade em 1999 pela UNESCO, a Reserva Natural Vale (RNV) é um dos 14 centros de alta diversidade e endemismo do Brasil e uma das áreas de conservação mais bem protegidas da América do Sul (Gentry et al., 1997; Peixoto e Silva, 1997). Apresenta a segunda maior reserva de Mata dos Tabuleiros ou Zona Costeira (Hiléia Baiana) do Estado do Espírito Santo (Martin et al., 1993), com 22 mil hectares, localizada ao Norte do Estado, nos municípios de Linhares, Sooretama e Jaguaré, entre as coordenadas geográficas de 18°58' e 19°16' de latitude Sul e 39°50' e 40°7' de longitude Oeste. A área de entorno que condiciona a faixa de monitoramento e proteção da reserva é representada por 3km de raio que perfaz toda a extensão da reserva e pequena parte da Reserva Biológica (REBIO) de Sooretama com limite na rodovia federal BR-101. A área total do estudo apresenta 68 mil hectares (Fig. 1).

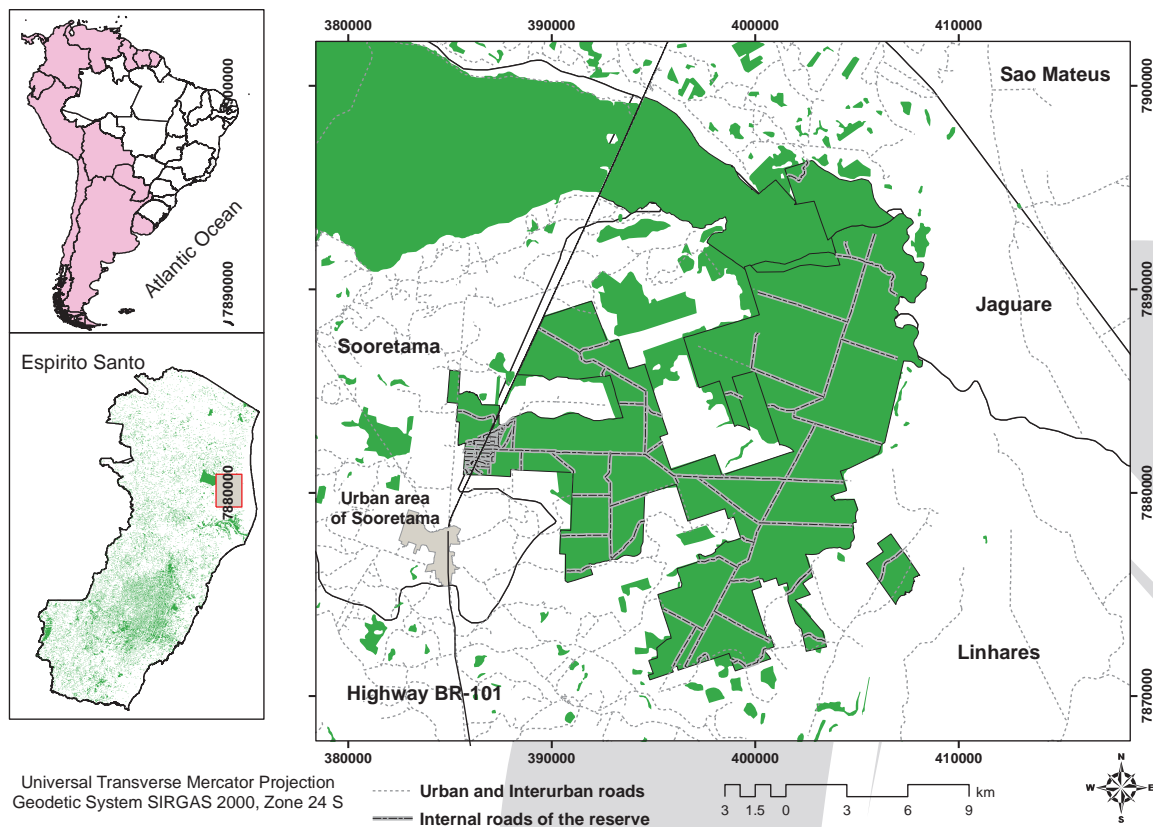


Fig. 1. Localização da área de estudo. A RNV é formada por quatro imóveis ou matrizes, sendo eles: Jaguaré, Linhares, Rancho Alto e Imbiribas. A área de entorno abrange pequena parte da REBIO de Sooretama com limite na rodovia BR-101 que corta a área de estudo.

2.2. Desenvolvimento do modelo de risco de incêndio florestal

A modelação do risco de incêndios florestais envolve a determinação de fatores com relevância a ocorrência e comportamento do fogo. Para esta pesquisa, um modelo de sistema especialista foi utilizado para determinar as áreas de maior risco ao fogo florestal. A lógica de incertezas *Fuzzy* foi determinante para realizar a integração das variáveis. Esta análise multicritério permite agregar a precisão inerente ao modelo matemático de conjuntos clássicos com a imprecisão do mundo real. A teoria de conjuntos clássica apenas possibilita identificar se um elemento pertence ou não a um dado conjunto. Zadeh (1965) propôs uma caracterização mais ampla, possibilitando

atribuir um grau de pertinência que pode variar em uma escala de 0 (elemento não pertence ao conjunto) até 1 (elemento totalmente pertence ao conjunto).

Dessa maneira, como processo de tomada de decisão foi identificado um conjunto de fatores relevantes ao risco de incêndio na área de estudo. Cinco fatores foram considerados de maior relevância: o fator biológico (uso e ocupação da terra), fatores físicos (orientação do relevo e declividade) e fatores socioeconômicos (proximidade a estradas e proximidade a residências).

O processo de obtenção dos parâmetros e sua influência ao risco de incêndio florestal na área de estudo pode ser consultado em Juvanhol (2014). Em resumo, a cada conjunto *Fuzzy* representado pela imagem matricial da variável de entrada, foi definida uma função de pertinência que melhor descreveu sua influência ao fogo, no qual, o maior risco de incêndio foi indicado quando o valor real da variável assumiu 1 e nulo quando o valor real da variável assumiu 0. As variáveis foram combinadas por meio de uma análise de sobreposição para indicar a possibilidade de a célula da imagem matricial de uma variável ser um membro de cada conjunto *Fuzzy* das demais variáveis, pelos critérios múltiplos de entrada.

A partir dos pontos relativos ao centroide da imagem raster, o mapa de risco de incêndio foi espacializado por método de Geoestatística. A técnica de *krigagem* escolhida compreende um conjunto de técnicas de estimação e previsão de superfícies baseada na modelagem da estrutura de correlação espacial. Realizada a análise estatística exploratória dos dados e a modelagem do variograma, o modelo matemático ordinário exponencial foi escolhido para descrever a variação dos dados. As camadas de informação foram criadas usando um tamanho de célula raster de 100 x 100m e o mapa de risco de incêndio definido em três categorias sendo que as áreas de maior risco no conjunto representado pelo intervalo de 0.7 – 1.0 foram escolhidas como critério para implementação do modelo para alocação das torres de observação.

2.3. Modelo matemático para alocação das torres de observação

Determinados os locais de maior risco de incêndio em extensão raster procedeu-se a conversão dos dados para arquivo poligonal e considerado o ponto central de cada vetor para análise da alocação das torres. A metodologia de alocação de torres de observação baseia-se na identificação de locais ótimos diante de algumas restrições pré-estabelecidas. Todo o processamento dos dados foi realizado no ambiente de execução de tarefas no *Software ArcGis® 10.2* utilizando a ferramenta de análise de redes (*Network Analyst*).

Em um problema de localização pretende-se estabelecer os locais onde serão sediadas facilidades para atender, da melhor maneira possível, um conjunto espacialmente distribuído de pontos de demanda.

Entre os problemas de localização-alocação existem os problemas de cobertura e problemas de localização de medianas. Em ambas, decisões são tomadas sobre onde localizar facilidades. Neste estudo, o modelo de otimização avaliado foi representado pelo Problema de *P*-Medianas e o Problema de Máxima Cobertura sendo ambos formulados como um problema de programação matemática binária inteira.

Segundo Arakaki (2002) a modelagem do Problema de *P*-Medianas (PM) tem como objetivo localizar *p* facilidades (recursos), de forma a minimizar o custo total da soma das distâncias de cada nó à sua mediana mais próxima. O modelo pode ser descrito matematicamente como:

$$F.O: \text{Min } (Z) = \text{Min} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} d_{ij} y_{ij} \quad (1.1)$$

$$\text{sujeito a: } \sum_{j=1}^n y_{ij} = 1; i \in N \quad (1.2)$$

$$\sum_{j=1}^n y_{jj} = p, \quad (1.3)$$

$$d_{ij} y_{ij} \leq \text{distância máxima} \quad (1.4)$$

$$y_{ij} \leq y_{ii}; \forall i, j \in N \quad (1.5)$$

$$y_{ij} \in \{0,1\}; \forall i, j \in N \quad (1.6)$$

Em que:

d_{ij} é a matriz simétrica de distâncias;

y_{ij} é a matriz de alocações, onde $y_{ij} = 1$ se o nó j está alocado à mediana i e $y_{ij} = 0$ caso contrário; $y_{jj} = 1$ se o nó i é uma mediana e $y_{jj} = 0$ caso contrário;

p é o número de medianas (facilidades a serem localizadas);

n é o número total de nós da rede, com $N = \{1,2, \dots, n\}$;

As restrições 1.2 e 1.5 determinam que cada nó j seja alocado somente a um nó i , que deve ser uma mediana. A restrição 1.3 garante o número exato de medianas a serem localizadas e a restrição 1.6 indica às condições de integralidade. A restrição 1.4 foi acrescentada no modelo para respeitar a distância máxima de atendimento à demanda.

Já o Problema de Máxima Cobertura (PMC) consiste em escolher locais para instalar facilidades de forma que o maior número de clientes (pontos de demanda) sejam cobertos, remetendo a ligação de cada cliente a uma determinada facilidade (Arakaki, 2002).

O autor ainda relata que o PMC busca cobrir as áreas de demanda, tendo como critério para determinar se um ponto de demanda é coberto ou não, a distância de atendimento crítica S , realizando a ligação da demanda a uma facilidade. Um ponto de demanda é considerado não coberto caso a facilidade esteja localizada a uma distância maior do que S . Dessa forma, PMC não faz restrições de capacidade e não exige que todas as áreas de demanda estejam cobertas; tendo como objetivo localizar p facilidades de modo que haja a máxima cobertura possível dos pontos de demanda dentro da distância pré-definida S .

O modelo pode ser descrito matematicamente como:

$$\text{F.O: Max (Z) = Max } \sum_{i \in N} D_i y_i \quad (2.1)$$

$$\text{sujeito a: } \sum_{j \in N_i} x_j \geq y_i; \forall i \in N \quad (2.2)$$

$$\sum_{j \in M} x_j = p, \quad (2.3)$$

$$x_j \in \{0,1\}; \forall j \in M \quad (2.4)$$

$$y_i \in \{0,1\}; \forall i \in N \quad (2.5)$$

Em que:

D_i é a demanda de população da área i ;

$N = \{1,2, \dots, n\}$ é o conjunto de pontos de demanda;

$M = \{1,2, \dots, n\}$ é o conjunto de possíveis facilidades;

$N_i = \{j \in J \mid d_{ij} \leq S\}$;

d_{ij} é a menor distância do nó i ao nó j ;

S é a distância de serviço (a área de demanda é coberta se está dentro desta distância);

p é o número de facilidades a serem localizadas;

$y_i = 1$ se a área de demanda i é coberta e $y_i = 0$ caso contrário; $x_j = 1$ se a facilidade deve ser localizada em j e $x_j = 0$ caso contrário.

Na formulação acima a função objetivo (2.1) procura maximizar a população aberta. A restrição (2.2) diz que a área de demanda $j \in J$ é coberta e se há pelo menos uma facilidade dentro da distância S . A restrição (2.3) limita o número de facilidades a p e as restrições (2.4) e (2.5) definem as variáveis de decisão a $\{0,1\}$.

Ambos os modelos, relacionam-se ao fato de estabelecer o melhor local de instalação das torres de observação de acordo com as menores distâncias de cada ponto central vinculado às áreas de risco, atingindo 100% de atendimento. As restrições de distâncias impostas ao modelo de otimização foram estabelecidas em 5km, 10km e 15km em função do aspecto da visibilidade que determina que o incêndio possa ser localizado, pois segundo Soares (1984) o campo de atuação da torre em termos de visibilidade pode perfazer entre 8 e 15km.

3. Resultados e discussão

O procedimento adotado para o sucesso no combate a incêndio é fundamental em qualquer planejamento de proteção florestal. Os modelos utilizados no presente trabalho atenderam com eficiência o objetivo de realizar a alocação das torres de incêndio e a quantidade ideal para a área máxima a ser visualizada.

Para gerar uma cobertura de 100% dos pontos foram analisados pelo modelo das *P*-medianas quantas torres seriam necessárias para realizar a cobertura total dos pontos de demanda, já o modelo de máxima cobertura teve como objetivo determinar o número ideal de torres para atender a 100% das áreas de risco.

O modelo das *P*-medianas resultou na alocação de 10, 4 e 2 torres para as distâncias de 5, 10 e 15 km, respectivamente (Tabela 1). Numa situação de restrição de recurso, o modelo permite determinar o número de torres a serem alocadas em função da percentagem dos pontos de risco de incêndio atendidos na área. Como exemplo, considerando que uma percentagem acima de 70% de visibilidade na área de interesse pode ser considerada um percentual satisfatório segundo Soares (1985), para o cenário 1, o atendimento aos pontos de demanda é obtido com a instalação de 5 torres, 2 torres para o cenário 2 e apenas 1 torre para o cenário 3.

Tabela 1. Resultados dos cenários para o modelo de *P*-medianas

Nº de torres	Cenário 1		Cenário 2		Cenário 3	
	5km	%	10km	%	15km	%
1	135	21.8	363	58.6	544	87.9
2	245	39.6	518	83.7	619	100
3	340	54.9	612	98.9	-	-
4	410	66.2	619	100	-	-
5	464	75.0	-	-	-	-
6	518	83.7	-	-	-	-
7	560	90.5	-	-	-	-
8	586	94.7	-	-	-	-
9	611	98.7	-	-	-	-
10	619	100	-	-	-	-

As Figuras 1, 2 e 3 mostram a aplicação do modelo de *P*-medianas para as restrições de distância de 5, 10 e 15km em que todos os pontos de risco de incêndio na área de estudo são visualizados quando 10, 4 e 2 torres, respectivamente, são alocadas de forma ótima.

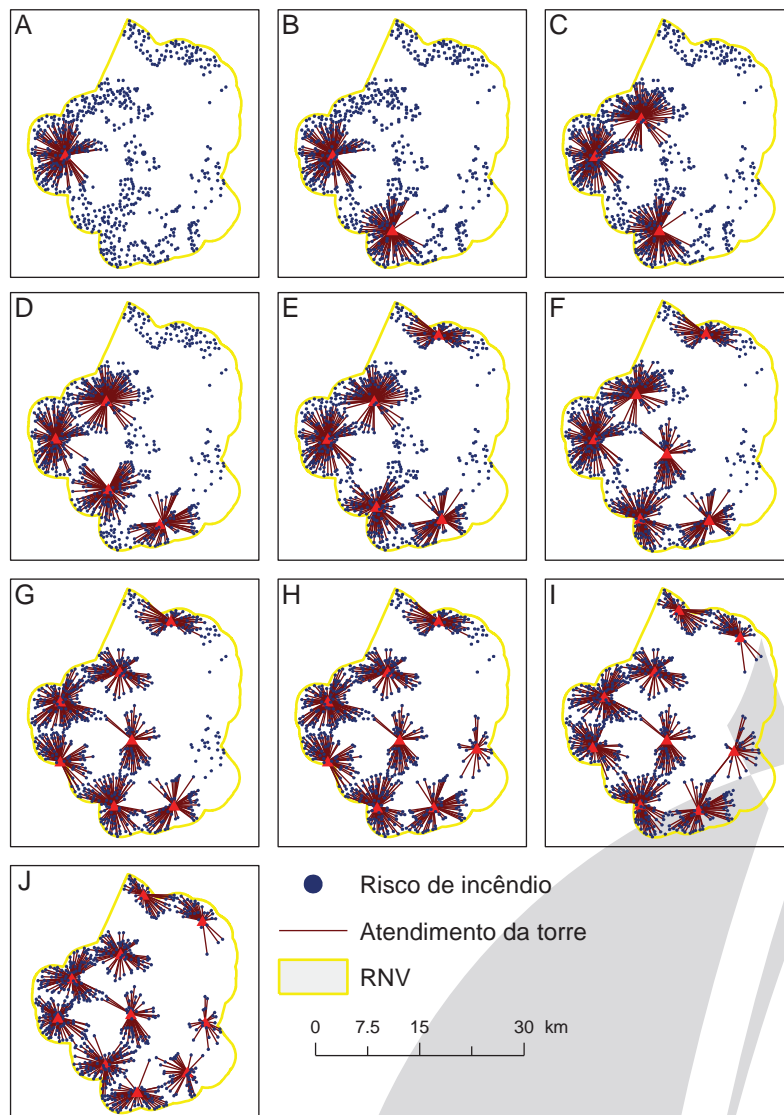


Figura 1. Aplicação do modelo de P -medianas no cenário 1 (5km).

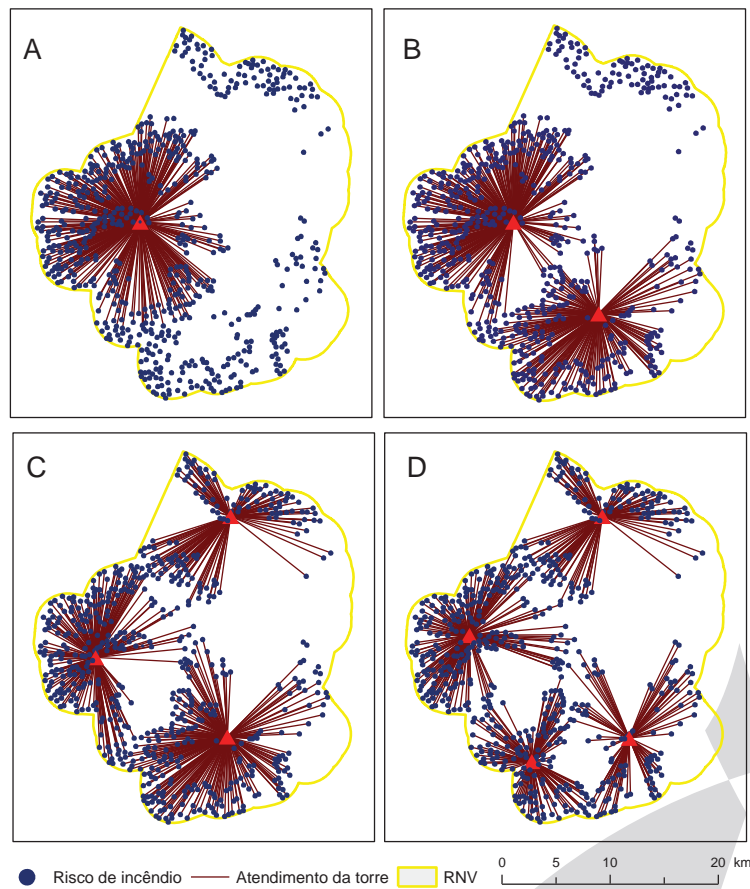


Figura 2. Aplicação do modelo de P -medianas no cenário 2 (10km).

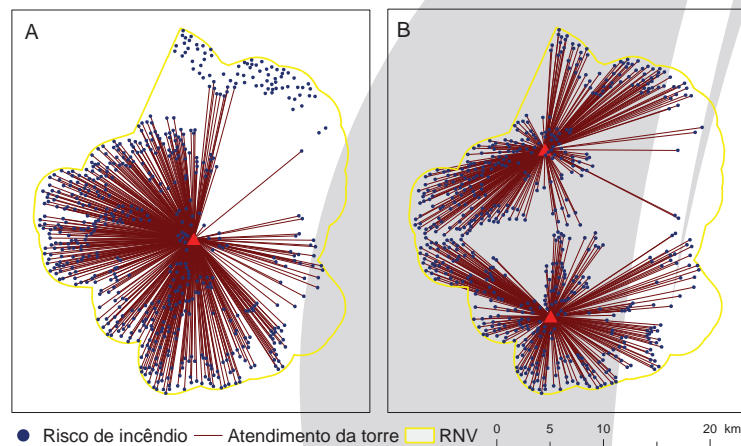


Figura 3. Aplicação do modelo de P -medianas no cenário 3 (15km).

O modelo de máxima cobertura, como esperado, resultou no mesmo número de torres que o modelo das p -medianas ao atender 100% da demanda, pois o princípio de atender a todos os pontos foi respeitado em ambos os modelos. Como se observa na Tabela 2, este modelo permite relacionar o atendimento dos pontos de demanda por cada torre no conjunto de solução final, permitindo inferir qual torre maior contribui para o aspecto de visibilidade na área em relação ao conjunto de torres da solução ideal.

Tabela 2. Resultados dos cenários para o modelo de máxima cobertura

Nº de torres	Cenário 1		Cenário 2		Cenário 3	
	5km	%	10km	%	15km	%
1	45	7.3	133	21.5	305	49.3
2	40	6.4	231	37.3	314	50.7
3	78	12.6	101	16.3	-	-
4	102	16.5	154	24.9	-	-
5	52	8.4	-	-	-	-
6	84	13.6	-	-	-	-
7	26	4.2	-	-	-	-
8	80	12.9	-	-	-	-
9	57	9.2	-	-	-	-
10	55	8.9	-	-	-	-
Total	-	100	-	100	-	100

O modelo de máxima cobertura pode ser utilizado quando não se têm a restrição de recurso pois este retorna o número ótimo de torres para atender 100% da demanda, diferentemente do modelo de p -medianas, que a cada nova facilidade instalada é possível avaliar o ganho em atender as demandas, de acordo, com as restrições impostas. Desse modo, o modelo de p -medianas permite um melhor planejamento com a limitação de recurso.

A possibilidade de flexibilização do modelo de p -medianas, proporciona a análise de sensibilidade a cada alocação de uma nova torre. Pode-se constatar, no cenário 1, que até o ponto de corte de 70% de visibilidade, a cada alocação de torre obtêm-se um ganho médio de 13% no atendimento da demanda, porém, acima desse ponto, o ganho médio é de apenas 5%.

Estes resultados permitem inferir que para o planejamento de alocação, torna-se inviável a instalação de uma nova torre na área de estudo pelo pequeno ganho no atendimento da demanda, refletindo na redução de custos e maximização dos recursos disponíveis. Nesse contexto, os postos de detecção móveis, como o patrulhamento motorizado, são importantes mecanismos de proteção e auxílio no combate ao incêndio apresentando-se como alternativa a maximizar a eficiência do sistema de detecção de incêndios na área

3.1. Eficiência dos modelos de localização-alocação

A aplicabilidade dos modelos proporcionou uma nova perspectiva de análise para alocação de torres de incêndios tendo como foco o planejamento estratégico. A utilização de modelos de otimização no planejamento estratégico de combate a incêndios florestais é inexistente na literatura. Sendo assim, modelos de programação matemática pode ser uma ferramenta robusta nesse tipo de planejamento, principalmente quando uma base de dados geograficamente referenciada pode ser usada e Sistemas de Informações Geográficas podem ser utilizados para a análise de dados. Lorena et al. (2001); Menezes e Pizzolato (2014) demonstraram esta efetividade.

Garey e Johnson (1979) relatam que os problemas de localização-alocação são conhecidos como um problema de *NP-Hard*, ou seja, exige um grande esforço computacional para obter uma solução ótima para o problema por meio de algoritmos exatos.

O grande esforço computacional se configura pela utilização de métodos enumerativos, que consiste na avaliação de todas as possíveis soluções (combinações) que podem passar a ter uma limitação na aplicação em problemas de maior complexibilidade e número de variáveis, prolongando o tempo de processamento da solução ótima. No entanto, o tempo de resposta ao obter a solução ótima neste estudo ocorreu em tempo viável pelo solver do ArcGis. Vale ressaltar, que os algoritmos exatos têm limitações em solucionar problemas do mundo real com

um número elevado de variáveis e restrições. Para esta situação, a solução do problema dar-se-á em métodos heurísticos que mesmo não garantindo uma solução exata, os mesmos têm a capacidade de gerar respostas próximas as soluções exatas, porém com um grande diferencial que é o tempo de processamento.

Em estudos futuros, outros critérios podem ser incorporados nos modelos para uma melhor resposta do problema, como o relevo, as vias de acesso, a altitude dos pontos mais destacados dentro da área e a formação vegetal.

4. Conclusão

A utilização da informação gerada pelo SIG associada à programação matemática proporcionou um ganho relevante para o planejamento de alocação de torres de incêndio florestal, maximizando a eficiência da mesma. A utilização do modelo de p -medianas apresenta-se como uma opção viável, tendo em vista o atendimento das demandas e possibilidade de análise de sensibilidade em relação ao número de facilidades. Os resultados contribuem para a redução de custos por meio da maximização da eficiência de cada torre.

Agradecimentos

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Espírito Santo (FAPES) – Edital nº 001/2014, pelo apoio financeiro. A Reserva Natural Vale pela oportunidade para realização deste trabalho.

Referências

- Arakaki, R.G.I.**, Heurística de localização-alocação para problemas de localização de facilidades, (*Tese de Doutorado em Computação Aplicada*). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, 2002.
- Arroyo, J. E. C e Marques, T. B.** (2006), Heurística GRASP aplicado ao problema de alocação de antenas de transmissão, *Atas do XXXIX SBPO*, 1345-1356.
- Assad, E. D. e Sano, E.E.**, *Sistema de Informações Geográficas – Aplicações na Agricultura*. Embrapa, Brasília, 1998.
- Cardoso, S. R. de S. N.**, Optimização de rotas e da frota associada. (*Dissertação de Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial*). Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2009.
- Garey, M. R. e Johnson, D. S.** *Computers and Intractability: A guide to the theory of NP-Completeness*. W. H. Freeman and Company, New York, 1979.
- Gentry, A., Herrera-Machbryde, O., Huber, O., Nelson, B. W. e Villamil, C. B.**, *Regional overview: South America*. Davis, S. D., Heywood, V. H., Hamilton, A. C. (Eds.). Centres of plant diversity: A guide and strategy for their conservation, WWF/IUCN, Cambridge, 269-307, 1997.
- Juvanhol, R.S.**, Modelagem da vulnerabilidade à ocorrência e propagação de incêndios florestais. (*Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais*). Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES, 2014.
- Lorena, L. A. N., Senne, E. L. F., Paiva, J. A. de C. e Pereira, M. A.** (2001), Integração de modelos de localização a sistemas de informações geográficas. *Gestão & Produção*, 8, 180-195.
- Martin, L., Suguio, K. e Flexor, J.M.** (1993), As flutuações de nível do mar durante o quaternário superior e a evolução geológica de “deltas” brasileiros. *Boletim. IG-USP. Publicação Especial*. 15, 1-186.
- Menezes, R. C. e Pizzolato, N. D.** (2014), Locating public schools in fast expanding areas: application of the capacitated p -median and maximal covering location models. *Pesquisa Operacional*, 34, 301-317.
- Oliveira, F. M de., Aloise, D. J. e Lima Junior, F. C de** (2013), Problema de localização de seções eleitorais e alocação de eleitores, *Atas do XLV SBPO*, 1332-1343.

Peixoto, A. L. e Silva, I. M., *Tabuleiro forests of northern Espirito Santo, Southeastern Brazil.* Davis, S. D., Heywood, V. H., Hamilton, A. C. (Eds.). *Centres of plant diversity: A guide and strategy for their conservation.* WWF/IUCN, Cambridge, 369-372, 1997.

Rosa, R. S. Aplicação de p-medianas para atendimento aos colégios estaduais por viaturas do batalhão de patrulha escolar. (*Dissertação de Mestrado em Ciências*). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

Santos, J.F., Soares, R.V. e Batista, A. C. (2006), Some aspects of forest fire occurrences in Brazil, *Forest Ecology and Management*, 234, S242–S242.

Soares, R.V., *Prevenção e controle de incêndios florestais.* Fupef, Curitiba, 1984.

Soares, R.V., *Incêndios florestais: controle e uso do fogo.* Fupef, Curitiba, 1985.

Zadeh, L.A. (1965), Fuzzy sets. *Information and Control*, 3, 338-353.

