

## MODELOS DE LOCALIZAÇÃO NA SELEÇÃO DE RESERVAS PARA CONSERVAÇÃO DE ESPÉCIES

Marcelo Gonçalves Narciso –  
CNPTIA EMBRAPA – [narciso@cnptia.embrapa.br](mailto:narciso@cnptia.embrapa.br)

Luiz Antonio Nogueira Lorena –  
[lorena@lac.inpe.br](mailto:lorena@lac.inpe.br)  
LAC - Laboratório Associado de Computação e Matemática Aplicada  
INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Caixa Postal 515  
12.245-970 São José dos Campos – SP

### **Resumo:**

*A definição e seleção de áreas para conservação de espécies vem recebendo atenção nos últimos 15 anos e apresenta-se como uma novo campo de análise espacial. Apresenta-se neste trabalho uma resenha sobre o uso de modelos de localização na seleção de reservas para conservação de espécies. Os modelos, em sua maioria, consideram um conjunto de áreas elegíveis para conservação, que por sua vez abrigam um subconjunto de espécies que foram designadas como importantes para preservação ou proteção. Para cada espécie em particular, considera-se que se ela existe atualmente em uma determinada área, ela poderá continuar a sobreviver nesta área desde que seja preservada. Os modelos de localização de cobertura procuram então determinar o menor número de áreas para que cada espécie sobreviva (ou tenha condições adequadas para sobrevivência) em pelo menos uma das áreas. No caso em que condições econômicas são imperativas, pode-se eleger um número de áreas a serem preservadas e a maior cobertura de espécies. Outros modelos de localização podem ser identificados, tais como os que consideram coberturas redundantes e/ou probabilidades de que espécies estejam presentes nas áreas definidas no estudo. Três princípios são geralmente seguidos: maximizar a diversidade de espécies considerando recursos limitados, apresentar várias alternativas aos decisores, e a contribuição que determinada área proporciona aos objetivos de conservação. Faz-se ainda neste estudo uma revisão bibliográfica e uma avaliação dos algoritmos que foram desenvolvidos no INPE e CNPTIA-EMBRAPA e que podem ser aplicados a problemas de localização para seleção de reservas para conservação de espécies. Os modelos e algoritmos podem ser consultados na página dos projetos ARSIG e ARSIG2 <http://www.lac.inpe.br/~lorena/ArSigIndex.html>.*

## 1 Introdução

A proteção do ambiente através de reservas biológicas é uma estratégia importante para preservação de sua diversidade de espécies. Como exemplos podem-se incluir os parques ecológicos, refúgios de vida selvagem e outros grupos de preservação de espécies.

A definição e seleção de áreas para conservação de espécies vêm recebendo atenção nos últimos 15 anos e apresenta-se como um novo campo de análise espacial [7]. Neste contexto, vários problemas de coberturas empregados para localização de facilidades [1, 7] serviram de inspiração para os correspondentes modelos de coberturas de áreas para conservação de espécies. Neste trabalho são destacados os modelos: *Cobertura de Conjuntos de Espécies (CCE)* [5] e o de *Máxima Cobertura de Espécies (MCE)* [10]. Outros modelos de localização podem ser identificados, tais como os que consideram coberturas redundantes e/ou probabilidades de que espécies estejam presentes nas áreas definidas no estudo [7].

Faz-se ainda neste estudo uma pequena revisão bibliográfica e sugestão de heurística para o MCE. Outros modelos e algoritmos podem ser consultados na página dos projetos ARSIG e ARSIG2 <http://www.lac.inpe.br/~lorena/ArsigIndex.html>.

## 2 Problemas de coberturas de espécies

Os modelos, em sua maioria, consideram um conjunto de áreas de terra elegíveis para conservação, que por sua vez abrigam um subconjunto de espécies que foram designadas como importantes para preservação ou proteção. Para cada espécie em particular, considera-se que se ela existe atualmente em uma determinada área, ela poderá continuar a sobreviver nesta área desde que seja preservada. Os modelos de localização de cobertura procuram então determinar o menor número de áreas para que cada espécie sobreviva (ou tenha condições adequadas para sobrevivência) em pelo menos uma das áreas. No caso em que condições econômicas são imperativas, pode-se eleger um número de áreas a serem preservadas e a maior cobertura de espécies.

O problema da *Cobertura de Conjuntos de Espécies (CCE)* [5] pode ser formulado matematicamente por:

*Cobertura de Conjuntos de Espécies:*

$$\text{Min } \sum_{j \in J} x_j \quad (1)$$

$$\text{sujeito a } \sum_{j \in M_i} x_j \geq 1, i \in I \quad (2)$$

$$x_j \in \{0,1\}, j \in J \quad (3)$$

onde

$I$  é o conjunto de índices de espécies que necessitam de preservação presentes na reserva,  
 $J$  é o conjunto de áreas elegíveis para seleção.

$M_i$  é o conjunto de áreas que contém a espécie  $i$ ,

$x_j$  é a variável de seleção ( de valor 1 se a área é selecionada para inclusão na reserva, e valor 0 , caso contrário). A função objetivo (1) procura minimizar o número de áreas para inclusão na reserva.

Este modelo corresponde ao modelo de *Localização por Cobertura de Conjuntos (LCC)* [7], que entretanto apresenta uma distribuição espacial dos dados. Segundo ReVelle, Willians e Bolland [7], a falta de estrutura espacial no modelo (CCE) o torna de solução mais difícil que o correspondente (LCC). Entretanto, de um modo geral pode-se dizer que problemas de cobertura de conjuntos são bem resolvidos nos dias atuais através de heurísticas e do método “*branch and bound*”.

No caso em que condições econômicas são imperativas, pode-se eleger um número de áreas a serem preservadas e a maior cobertura de espécies. O modelo de *Máxima Cobertura de Espécies (MCE)* procura escolher  $p$  áreas de conservação de forma que o maior número de espécies sejam representadas na reserva. O modelo é formulado matematicamente por:

*Máxima Cobertura de Espécies*

$$\text{Max } \sum_{i \in I} y_i \quad (4)$$

$$\text{sujeito a } \sum_{j \in M_i} x_j \geq y_i, i \in I \quad (5)$$

$$\sum_{j \in J} x_j = p \quad (6)$$

$$x_j \in \{0,1\}, j \in J; y_i \in \{0,1\}, i \in I \quad (7)$$

onde  $y_i$  é igual a 1 se a espécie  $i$  é representada na reserva, isto é, é representada em pelo menos uma área selecionada do conjunto  $M_i$  (e igual a zero, caso contrário). A função objetivo (7) busca maximizar o número de espécies que estão representadas ou cobertas na reserva.

Este modelo corresponde ao modelo de *Localização de Máxima Cobertura Cobertura (LMC)* [1], que entretanto também apresenta uma distribuição espacial dos dados.

### 3 Uma heurística para o MCE

A heurística de *localização-alocação* alternada, sugerida para aproximar a solução de problemas de *clustering*, pode ser usada para o problema de *Máxima Cobertura de Espécies (MCE)*.

Observe inicialmente que cada vez que se identifica um conjunto de  $p$  áreas de conservação, também são identificados  $p$  clusters  $C^k$ ,  $k \in \{1, 2, \dots, p\}$ , formados pelas  $p$  áreas selecionadas e respectivas áreas cobertas por possuírem as mesmas espécies. Pode-se então tentar melhorar a qualidade das localizações e alocações (coberturas) realizando trocas dentro dos clusters (e para cada cluster), re-allocando (cobrindo) e formando novos clusters.

A heurística de *localização-alocação* foi inspirada nos trabalhos de Cooper [2] e Taillard [9], comentada no trabalho [3], e usada com sucesso nos trabalhos [4, 6, 8]. Uma solução inicial pode ser melhorada procurando-se por uma nova área dentro de cada cluster, trocando-se a área atual por outra e recalculando-se as coberturas. Este processo é repetido até que não seja mais possível obter melhorias no custo total da cobertura.

O algoritmo de *localização-alocação* está descrito a seguir em *pseudo-código*:

```

Enquanto (solução-inicial melhora)
  Para  $k = 1, \dots, p$ 
    Troque área selecionada por área coberta dentro do cluster  $C^k$ ;
    Calcule o valor  $v$  correspondente à melhor cobertura;
    Se  $v$  é melhor que solução-inicial
      Atualize a área selecionada do cluster  $C^k$ ;
      Faça solução-inicial =  $v$ ;
  Fim_se;
Fim_para;
Fim_enquanto;

```

Esta heurística foi usada como heurística de melhora de soluções combinada com heurísticas *Lagrangeanas* (ou *Lagrangeanas/surrogate*) [4, 8], ou ainda como um processo de mutação no *algoritmo genético construtivo* aplicado ao problema de *p-medianas* [6]. Os resultados foram bastante satisfatórios, embora possam ser considerados computacionalmente excessivos para problemas grandes. Nestes casos deve-se restringir o alcance das trocas dentro dos clusters.

## 4 Conclusões

Este trabalho apresentou uma resenha de modelos de cobertura para seleção reservas para a conservação de espécies. Os modelos de localização de cobertura procuram determinar o menor número de áreas para que cada espécie sobreviva (ou tenha condições adequadas para sobrevivência) em pelo menos uma das áreas. No caso em que condições econômicas são imperativas, pode-se eleger um número de áreas a serem preservadas e a maior cobertura de espécies. Outros modelos de localização podem ser identificados, tais como os que consideram coberturas redundantes e/ou probabilidades de que espécies estejam presentes nas áreas definidas no estudo. Três princípios são geralmente seguidos:

maximizar a diversidade de espécies considerando recursos limitados, apresentar várias alternativas aos decisores, e a contribuição que determinada área proporciona aos objetivos de conservação.

Vários dos algoritmos que foram desenvolvidos no INPE e CNPTIA-EMBRAPA podem ser aplicados a problemas de localização para seleção de reservas para conservação de espécies. Os modelos e algoritmos podem ser consultados na página dos projetos ARSIG e ARSIG2 <http://www.lac.inpe.br/~lorena/ArsigIndex.html>.

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem à FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo e ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pelos apoios financeiros recebidos.

### **Referências Bibliográficas**

1. Church, R. L. and ReVelle, C. S. *The Maximal Covering Location Problem*. Papers of The Regional Science Association, 32: 101-118, 1974.
2. Cooper, L. *Location-allocation problems*. Operations Research, 11: 331-343, 1963.
3. Lorena, L.A.N. *Análise espacial de redes com aplicações em sistemas de informações geográficas* Revista Produção (on-line) – junho de 2003
4. Lorena, L. A. N. and Pereira M. A. *A Lagrangean/surrogate heuristic for the maximal covering location problem using Hillsman's edition*. International Journal of Industrial Engineering - 9(1): 57-67, 2002
5. Margules, C.; Nichols, A. ; Pressey, R. *Selecting networks of reserves to maximize biological diversity*, *Biological Conservation* 43, p. 63-76, 1988
6. Narciso, M. G. ; Lorena, L.A.N. and Furtado, J. C. *Mutação de localização-alocação para problemas de p-medianas* XXXII SBPO - Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional - Viçosa - 2000
7. Revelle, C. S.; Willians, J. C.; Boland, J. J. *Counterpart in facility location science and reserve selection science*, *Environmental Modeling and Assessment* 7, p. 71-80, 2002
8. Senne, E. L. F. and Lorena, L. A. N. *Lagrangean /Surrogate Heuristics for p-Median Problems*. In *Computing Tools for Modeling, Optimization and Simulation: Interfaces in Computer Science and Operations Research* (Eds.: M. Laguna and J. L. Gonzales-Velarde). Kluwer Academic Publishers, New York, pp. 115-130, 2000.
9. Taillard, E.D. *Heuristic methods for large centroid clustering problems*, Technical report IDSIA96-96, IDSIA, 1996.
10. Underhill L. *Optimal and sub optimal reserve selection algorithms*, *Biological Conservation* 35, p. 85-87, 1994