

Uso da Linguagem C na Resolução de Problemas de Conservação da Biodiversidade do Cerrado Goiano

Gustavo Cunha Cintra¹, Maria Socorro D. S. Couto¹, Ole Peter Smith²

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG) – Inhumas, GO – Brasil

²Instituto de Matemática e Estatística – Universidade Federal de Goiás (UFG) – Goiânia, GO - Brasil

{gcunha16, socorrosc, ole.ufg}@gmail.com

***Abstract.** To determine solutions of systematic way of biodiversity conservation problems, they are increasingly using the computer as a tool combined with mathematics, which provides means which automate, streamline and make more efficient methods of solving problems. This work optimizes the selection of priority areas for biodiversity conservation in the Cerrado biome in the state of Goiás, from the topological organization and verification from the database and the automatic refinement of the solution to generate scenarios, facilitating decision-making managers.*

***Resumo.** Para determinar soluções de problemas de conservação da biodiversidade de maneira sistemática, estão utilizando cada vez mais a computação como uma ferramenta aliada à matemática, a qual disponibiliza de meios que procuram automatizar, agilizar e tornar mais eficientes os métodos de resolução de problemas. Este trabalho otimiza o processo de seleção de áreas prioritárias para conservação da biodiversidade do bioma Cerrado no estado de Goiás, a partir da organização e verificação topológica do banco de dados e do refinamento automático da solução para gerar cenários, facilitando a tomada de decisão dos gestores.*

1. Introdução

A grande perda de biodiversidade e habitat nas últimas décadas levou a necessidade cada vez maior do uso de métodos e técnicas de planejamento sistemático para seleção de áreas prioritárias para conservação, os quais permitem priorizar áreas/espécies a serem preservadas, levando em consideração a limitação de recursos naturais e econômicos [Arponen et al, 2005; Margules & Pressey, 2000].

Um exemplo desta grande perda de biodiversidade é o bioma Cerrado, que ocupa uma área de 2.039.387 km², abrange 12 estados [IBGE, 2000] e apresenta um avançado estágio de degradação com perdas de 39,5% a 55% da cobertura vegetal nativa original [Machado et al, 2004; Sano et al, 2008], necessitando, assim, de ações urgentes que otimizem a conservação de sua vegetação remanescente e minimize os atritos entre a conservação e o desenvolvimento socioeconômico da região.

Neste contexto, o modelo matemático não linear proposto por Couto et al. (2010) procura selecionar áreas prioritárias para conservação da biodiversidade no Cerrado goiano, valorizando os ambientes ripários e de vegetação remanescente, ao mesmo tempo que minimiza os efeitos das variáveis antrópicas sobre a conservação destas áreas.

Os métodos matemáticos e computacionais de otimização constituem-se em importantes subsídios técnicos aos problemas de conservação, que permitem a resolução de problemas de seleção de áreas de forma mais eficiente e rápida. Desta forma, o objetivo deste trabalho consistiu em melhorar o algoritmo usado por Couto et al. (2010), que determina a solução ótima do problema de seleção de áreas prioritárias para conservação da biodiversidade no Bioma Cerrado goiano.

Para isto, foram desenvolvidas ferramentas que permitirão: organizar de forma mais inteligente a entrada de dados; verificar a topologia do banco de dados; refinar de forma automática pontos do intervalo da variável que indica o nível de importância da área selecionada, para proporcionar melhores soluções; obter um número n de valores no intervalo definido para cada parâmetro, facilitando a análise da variação dos mesmos; automatizar a saída de informações e o preparo da solução ótima para gerar cenários.

Assim, o processo de obter a solução ótima para gerar cenários tornou-se mais simples, rápido e eficiente, facilitando a tomada de decisão dos gestores, com o propósito de determinar áreas de conservação.

2. Desenho Experimental: Dados e Metodologia

Este trabalho tem como área de estudo o Estado de Goiás, com aproximadamente 98% de sua área inserida na região core do bioma Cerrado, e com em torno de 63% da cobertura vegetal nativa já convertida em pastagens cultivadas e áreas agrícolas [SANO et al, 2008].

Temos, neste artigo, como base de estudo o modelo (1) de seleção de áreas prioritárias para conservação proposto por Couto et al. (2010), pois se trata de uma proposta para identificação de áreas prioritárias para conservação da biodiversidade recente, baseada na modelagem de interações não lineares (i.e. programação não linear) e Teoria de Grafos, uso da bacia hidrográfica como unidade de análise e valoração da conectividade entre diferentes áreas prioritárias, com vistas à formação de mosaicos e/ou corredores que maximizem o potencial de conservação.

$$\begin{aligned} \text{Min} \sum & \left[- \left(\frac{c_1}{P_i} + \frac{c_2}{Q_i} + \frac{c_3}{I_i} \right) \cdot (1 - \alpha(i)) a_i - c_4 (1 - \alpha(i)) b_i + c_5 \cdot \left(\frac{P_i}{a_i} \right) - c_6 \cdot \beta(i) + \right. \\ & \left. c_7 \cdot r_i - c_8 \cdot d_i + \frac{c_9 \alpha_i^T D \alpha_i}{(g^2(i) - g(i))} - c_{10} e_{ij} \right] \quad (1) \\ \text{s.a.} & \sum \alpha(i) \cdot a_i \geq K \end{aligned}$$

onde, c_i $i=1,2,\dots,10$ são os parâmetros e as variáveis da função objetivo são:

a_i = área do fragmento remanescente i dentro da bacia;

b_i = área do buffer do fragmento remanescente i dentro da bacia;

P_i = preço da terra do município que contém o fragmento remanescente i ;

Q_i = PIB correspondente ao município que contém o fragmento remanescente i ;

I_i = IDH correspondente ao município que contém o fragmento i ; remanescente;

e_{ij} = vetor de presença ou ausência de espécie j dentro do fragmento remanescente i ;

p_i/a_i = razão entre o perímetro e a área do fragmento remanescente i ;

r_i = nível de influência sofrida (0, $\frac{1}{2}$ ou 1) do fragmento remanescente i com a rodovia;

d_i = distância de saída da sub-região hídrica (ou simplesmente, distância hídrica), isto é, o número de fragmentos remanescentes que estão rio abaixo do fragmento i até o ponto final da linha de drenagem, esta distância ajuda identificar o fragmento remanescente que faz parte de uma nascente.

$\alpha(i)$ = variável de qualidade/importância de inclusão do fragmento remanescente i em proposta de conservação. Esta variável tem valor inicial de zero e varia ao longo do algoritmo. A determinação de seu valor é a finalidade do algoritmo;

$\beta(i)$ = variável que reflete a existência de fragmentos remanescentes adjacentes ao fragmento i na proposta de conservação.

K = porcentagem de área de vegetação remanescente a ser priorizada.

O algoritmo computacional heurístico utilizado por este modelo determina soluções com áreas mais aglomeradas, favorecendo a viabilidade ecológica, o custo de conservação e a redução dos atritos entre a conservação da biodiversidade e o desenvolvimento socioeconômico regional [Cabeza & Moilanen, 2001]. Por estes motivos e pelo fato de se tratar de um problema que trabalha com grande quantidade de dados tornou-se interessante e viável procurar melhorar o desempenho deste algoritmo para obter soluções mais precisas, com maior rapidez e facilidade.

O banco de dados deste problema é composto por um conjunto de dados primários (cartográficos, temáticos, censitários, orbitais e biológicos) que são detalhados através do diagrama da Figura 1.

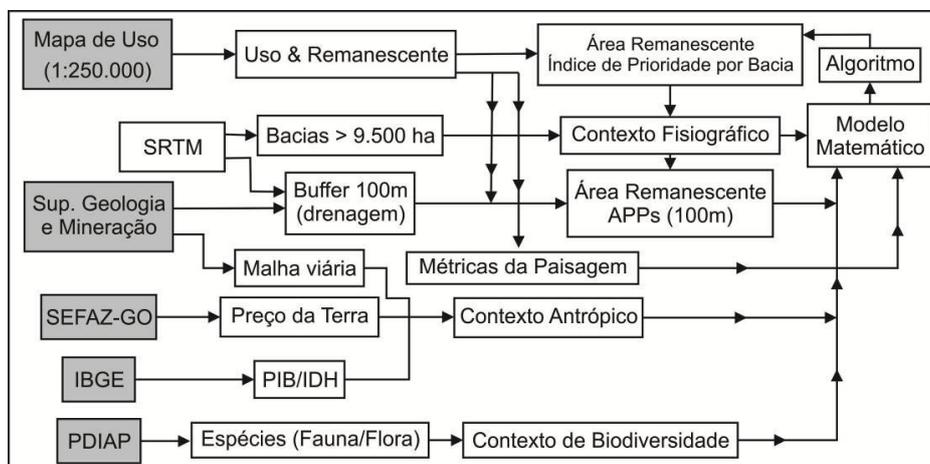


Figura 1. Conjunto de dados primários e procedimentos metodológicos aplicados à área de estudo para identificação de áreas prioritárias.

Neste trabalho, o modelo proposto por Couto et al. (2010), foi implementado na Linguagem C e os mapas foram confeccionados na plataforma ArcGis 9.0.

3. Resultados e Discussão

Citam-se, a seguir, alguns resultados e discussões gerados e analisados após cumprir os objetivos apresentados anteriormente.

Tendo em vista que as tarefas mecânicas de um banco de dados são sempre feitas com melhor qualidade por máquinas [DATE, 2003], procurou-se organizar o conjunto de dados primários de forma que as variáveis, através de algoritmo implementado, fossem separadas em arquivos de acordo com suas características. Estes arquivos foram automatizados para produzir saídas em formato .csv (comma-separated values), o qual é compatível com o software ArcGis 9.0, utilizado na criação dos mapas para visualizar as soluções do problema.

Após a organização dos dados, desenvolveu-se um processo capaz de detectar e verificar a topologia dos dados, para eliminar possíveis erros existentes no banco de dados em questão.

Depois, implementou-se um programa que gerou automaticamente valores equidistantes no intervalo $[0, 1]$ mais refinados para a variável $\alpha(i)$, a qual representa o nível de inclusão do fragmento remanescente i em proposta de conservação. Com isto, a solução ficou mais refinada, tendo em vista que no algoritmo proposto por Couto et al. (2010) eram disponibilizados somente cinco valores para $\alpha(i)$, o que tornava a solução do problema mais limitada.

A linguagem de programação C é uma linguagem de finalidade geral que permite um código mais simplificado, modernos fluxos de controle e estrutura de dados e um rico conjunto de operadores. Apesar de existir outras linguagens de alto nível e mais sofisticadas, sua falta de restrições e sua generalidade tornam-na mais conveniente e eficaz [Kernighan & Ritchie, 1989]. Desta forma, reescreveu-se o código do algoritmo proposto por Couto et al. (2010), para melhorar o desempenho do mesmo e poder fornecer automaticamente a saída de informações.

Foi automatizado o processo de transformação da solução, que a princípio era dado em nível de importância do remanescente, para visualização em termos do nível de importância da bacia. Possibilitando, desta forma, melhorar o processo de gerar cenários.

Também, automatizou-se a obtenção de n valores equidistantes no intervalo de cada parâmetro, contribuindo na análise de sensibilidade das soluções, que pode auxiliar os gestores com vistas à elaboração e/ou aperfeiçoamento de políticas públicas para priorização de áreas para conservação.

As Figuras 2 e 3 são exemplos de cenários obtidos a partir da análise da variação do parâmetro referente à conectividade e vizinhança da área selecionada (c_6), onde o valor dos outros parâmetros é fixo ($c_1 = 2.000$, $c_2 = 20.000$, $c_3 = 0,2$, $c_4 = 20$, $c_5 = 100.000$, $c_7 = 12.000$, $c_8 = 1.000$, $c_9 = 0,25$ e $K = 0,7$ da área total de vegetação remanescente)[Couto et al, 2010].

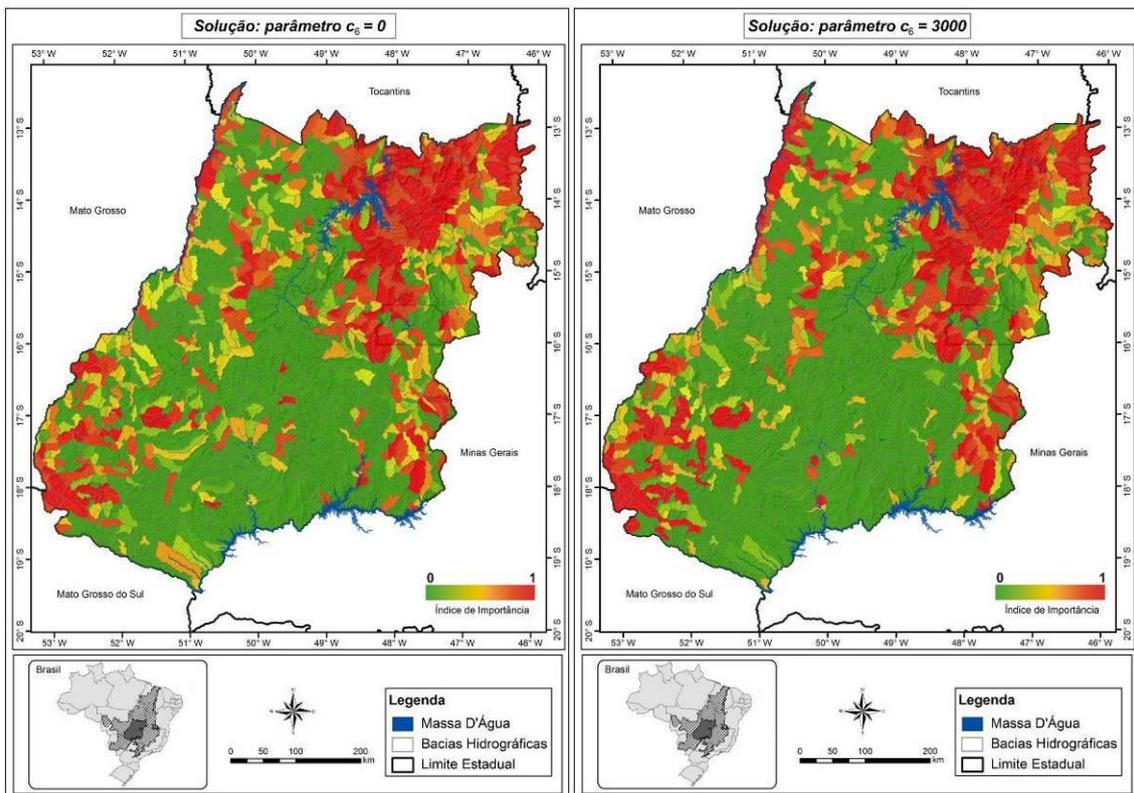


Figura 2. Solução Ótima: parâmetro $c_6=0$. Figura 3 Solução Ótima: parâmetro $c_6=3000$.

Couto et al. (2010) definiu como sendo uma solução ótima, a solução que possui elevado índice de ambientes ripários e de vegetação remanescente ($c_4 = 60$ e $c_8 = 2.500$), e que valoriza a vizinhança e a conectividade entre estas áreas ($c_6 = 3.000$ e $c_9 = 2$), ao mesmo tempo que também minimiza os efeitos das variáveis antrópicas sobre a conservação destas áreas ($c_1 = 2.000$, $c_2 = 20.000$, $c_3 = 0,2$, $c_5 = 100.000$, $c_7 = 12.000$), cuja porcentagem de área a ser priorizada (K) varia de acordo com os interesse dos gestores.

Neste trabalho, a variação da porcentagem de área a ser priorizada (K) no algoritmo passou também a ser automatizada, facilitando o estudo de sua variação e a análise das bacias com maior nível de importância, para saber quais foram as primeiras a serem priorizadas na solução, e por onde elas se propagam nessa priorização.

Para melhor visualizar esta situação, foram tomadas quatro porcentagens de áreas a serem priorizadas K (0,42; 0,49; 0,56; 0,70), obtendo assim quatro soluções ótimas (1, 2, 3 e 4) (Figuras 4, 5, 6 e 7).

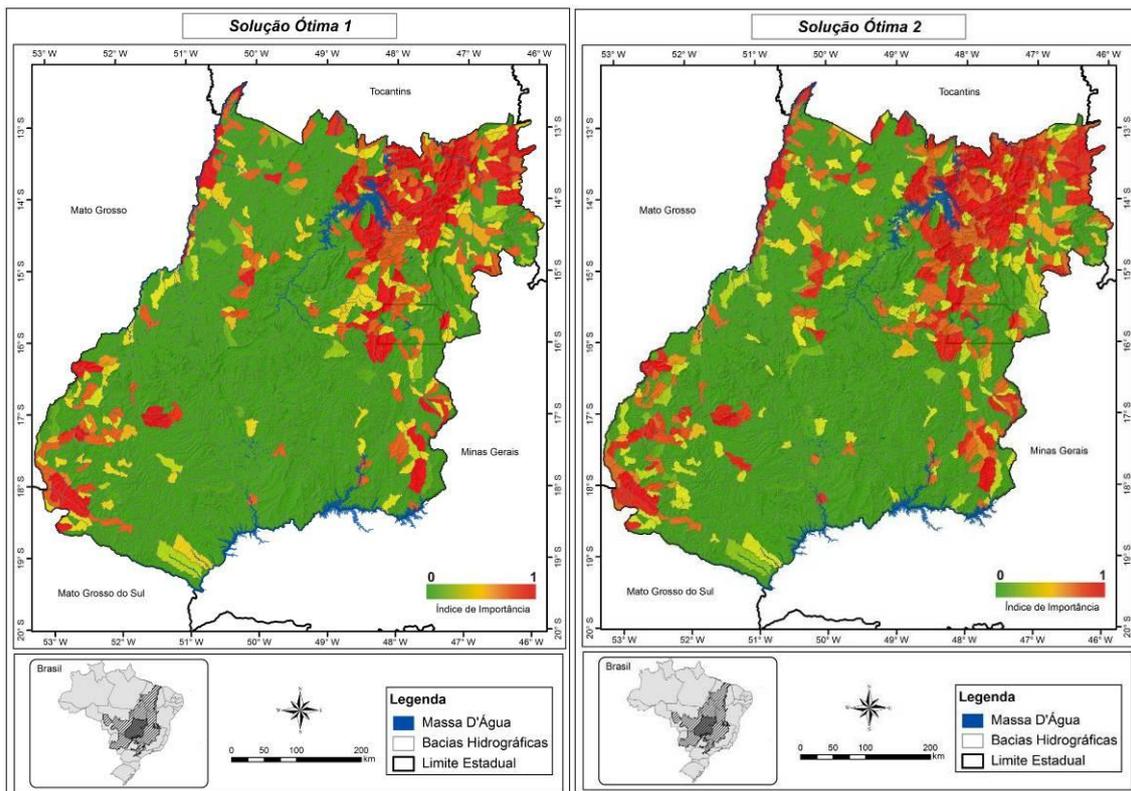


Figura 4. Solução Ótima: parâmetro $K=0,42$. Figura 5 Solução Ótima: parâmetro $K=0,49$.

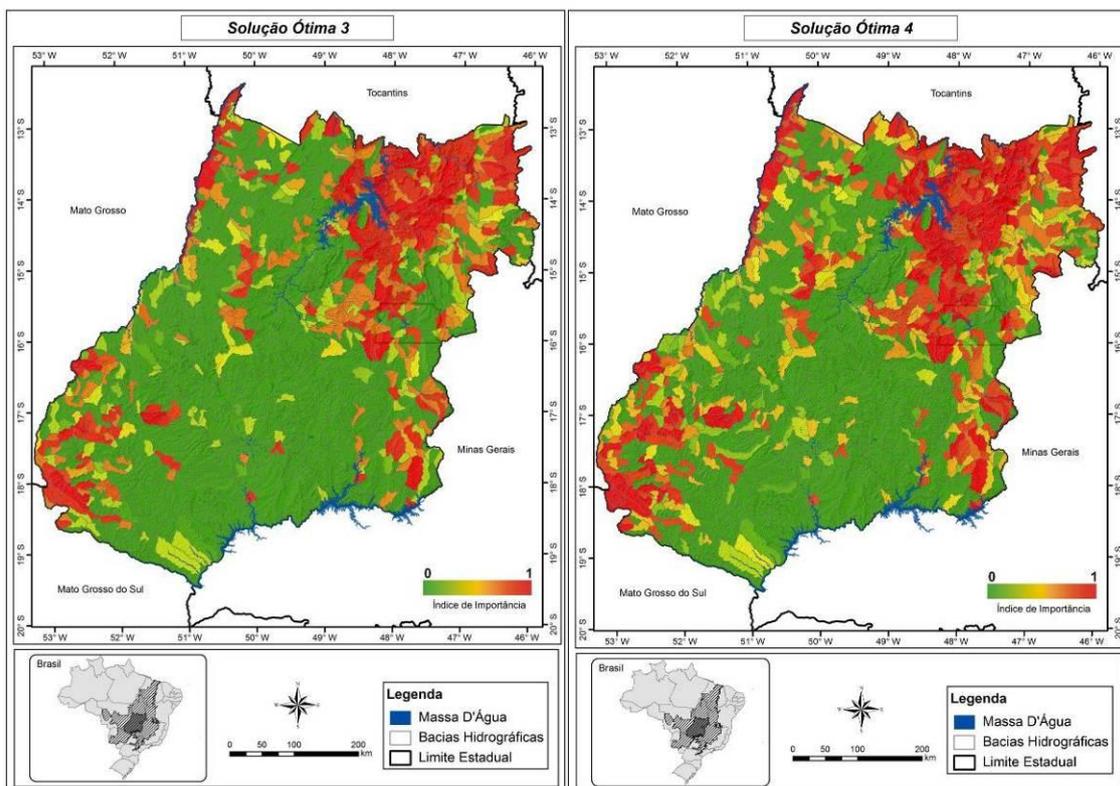


Figura 6. Solução Ótima: parâmetro $K= 0,56$. Figura 7. Solução Ótima: parâmetro $K=0,70$.

Comparando estas soluções, observa-se que a solução 4 contém as bacias com maior nível de importância da solução 3, que contém as bacias com maior nível de importância da solução 2, que contém as bacias com maior nível de importância da solução 1.

Conclui-se, então, que o uso da Linguagem C no algoritmo proposto por Couto et al. (2010), juntamente com a implementação de novos procedimentos, melhoraram consideravelmente o processo de resolução do problema de seleção de áreas prioritárias no Cerrado goiano, pois tornou-se mais simples, rápido e eficiente a análise de sensibilidade das soluções realizadas na tomada de decisão pelos gestores, com vistas à elaboração de políticas públicas para criação de novas áreas de conservação, para atender a meta mundial de conservação ecológica (10%), segundo provisões da Convenção sobre Diversidade Biológica [MMA, 2006], da qual o Brasil é signatário.

4. Considerações finais

O uso de linguagem de programação C, por não possuir restrições, permite ser aplicado em diversos problemas de âmbito ambiental, viabilizando organizar a entrada do conjunto de dados primários e de todo seu processo de resolução.

É importante ressaltar, que existe a necessidade de desenvolver novas pesquisas para elaborar e/ou implementar ferramentas computacionais, que visem melhorar a eficiência do processo de resolução de problemas de seleção de áreas/espécies para conservação com a introdução de novas variáveis socioeconômicas e de parâmetros que retratam melhor a realidade do problema do bioma.

Referências

- Arponen, A., Heikkinen, R. K., Thomas, C. D. and Moilanen, A. (2005) “The Value of Biodiversity in Reserve Selection: Representation, Species Weighting, and Benefit Functions”. *Conservation Biology* 19: 2009-2014.
- Cabeza, M. and Moilanen, A. (2001) “Design of reserve network and the persistence of biodiversity”. *Trend in Ecology and Evolution* 16:242-248.
- Couto, M. S. D. S., Ferreira, L. G., Hall, B. R., Silva, G. J. P. and Garcia, F. N. (2010) “Identificação de áreas prioritárias para conservação da biodiversidade e paisagens no estado de Goiás: métodos e cenários no contexto da bacia hidrográfica”. *Revista Brasileira de Cartografia* N° 62/02, p. 125-135.
- Date, C. J. (2003) “Introdução a sistemas de banco de dados”. Tradução de Danill Vieira – Rio de Janeiro. Elsevier – 9ª reimpressão, p. 15.
- IBGE (2000) Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. “Censo demográfico, 2000”. Disponível em: <<http://www.ibge.br>>. Acesso em 15/07/2010.
- Kernighan, B. W. and Ritchie, D. M. (1989) “C, a linguagem de programação: padrão ANSI”. Tradução: Daniel Vieira – Rio de Janeiro: Campus.
- Machado, R. B., Neto, M. B. R., Pereira, P. G., Caldas, E. F., Gonçalves, D. A., Santos, N. S., Tabor, K. and Steininger, M. (2004) “Estimativas de perda do cerrado brasileiro”. *Conservação Internacional*. Brasília. Disponível em

<<http://www.conservation.org.br/arquivos/RelatDesmatamCerrado.pdf>>. Acesso em 10/02/2007.

Margules, C.R. and Pressey, R. L. (2000) “Systematic conservation planning”. *Nature* 405: 243-253.

MMA, Ministério do Meio Ambiente. Programa Nacional de Conservação e Uso Sustentável do Bioma Cerrado: Programa Cerrado Sustentável – 2006. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/sbf/_arquivos/programa_bioma_cerrado.pdf>. Acesso em 10/12/2010.

Sano, E. E., Rosa, R., Brito J. L. and Ferreira, L. G. (2008) “Mapeamento semidetalhado (escala de 1:250.000) da cobertura vegetal antrópica do bioma Cerrado”. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 43 (1): 153-156.