

Malha rodoviária e conflitos de conservação no cerrado: um estudo para a preservação de anfíbios

Rodrigo de Jesus Silva^{1*}, Ludgero Cardoso Galli Vieira², Míriam Plaza Pinto¹,
Guilherme Oliveira³ e Bruno Souza Barreto³

¹Laboratório de Ecologia Teórica e Síntese, Departamento de Biologia Geral, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Goiás, Cx. Postal 131, 74001-970, Goiânia, Goiás, Brasil. ²Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil. ³Programa de Pós-graduação em Ecologia e Evolução, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil. *Autor para correspondência. e-mail: rodrigojsilva@click21.com.br

RESUMO. A criação de unidades de conservação tem sido uma importante ferramenta para minimizar a perda de biodiversidade. Entretanto, a alocação destas unidades deve ser otimizada de forma que possam preservar o maior número de espécies sob uma série de restrições sócio-econômicas, as quais incluem o efeito da malha rodoviária sobre a biodiversidade. Utilizando um conjunto de dados sobre a distribuição de 131 espécies de anfíbios Anuros no bioma Cerrado, distribuídos em 181 células (1° de latitude e 1° de longitude), um processo de otimização foi feito através do algoritmo “*simulated annealing*”, disponível no programa SITES 1.0. O presente estudo apresenta duas redes de unidades de conservação para o Cerrado, uma baseada no conceito de complementaridade e a outra na distribuição de rodovias. Elas indicam, respectivamente, as localidades mais importantes para a criação de unidades de conservação e os locais onde deve existir uma unidade de conservação para que todas as espécies de anuros com ocorrência neste Bioma sejam preservadas, levando em consideração a extensão rodoviária. Estes resultados sugerem a utilização de ambas as redes para que haja sinergismo entre projetos de conservação e desenvolvimento humano, medido através da malha viária.

Palavras-chave: unidades de conservação, otimização, biodiversidade, Anura, Cerrado.

ABSTRACT. Road network and conservation conflicts in cerrado: a study for amphibian preservation. Building conservation units has been an important tool to minimize the loss of biodiversity. However, the allocation of these units need to be optimized to preserve the greatest number of species, under a series of socioeconomic restrictions that include the road network effect on biodiversity. An optimization process was made by using the “*simulated annealing*” algorithm, available on program SITES 1.0, to model a set of data on the distribution of 131 species of anuran amphibians occurring in Cerrado, distributed in 181 cells with 1° of spatial resolution. This study shows a couple of conservation units networks in Brazilian Cerrado, one of them based on the concept of complementarity and another on the distribution of roads. This paper points out the most important sites to create conservation units, attempting to preserve anuran amphibians from Cerrado and the places that should protect all anuran species spread on this biome, along the roads’ length. The results suggest that both networks should be used to combine conservation plans and human development, evaluated by means of road network.

Key words: conservation units, optimization, biodiversity, Anura, Cerrado.

Introdução

Um dos maiores problemas dos ecossistemas mundiais é a perda da biodiversidade (Moyle e Williams, 1990; Diemer e Schmid, 2001; Primack e Rodrigues, 2001), sendo a extinção regional de espécies causada principalmente pela destruição dos habitats naturais e influência de ações antrópicas. Uma das principais medidas tomadas para conter a perda de biodiversidade é a criação de unidades de conservação, cuja localização deve ser otimizada de

forma que possam preservar o maior número de espécies possível, sob diversos tipos de restrições geradas pelo desenvolvimento econômico. Conseqüentemente, diversos critérios para seleção de áreas prioritárias para conservação têm sido utilizados (Pressey *et al.*, 1993; Silva *et al.*, 2005).

Devido a altas taxas de perda da biodiversidade e elevado número de espécies endêmicas, o bioma Cerrado é considerado um dos “hotspots” mundiais de conservação da biodiversidade (Myers *et al.*,

2000). Estudos visando à preservação da biodiversidade deste bioma são necessários em vista da crescente ação antrópica, como o desmatamento para a agricultura, criação de gado e aumento da malha rodoviária (Vieira, 1996; Malheiros, 2004; Klink e Machado, 2005).

Um dos grupos mais afetados pela perda de habitats no Cerrado é o dos anfíbios anuros, sujeito a declínios populacionais e extinções, também, em escala global (Alford e Richards, 1999; Collins e Storfer, 2003; Stuart *et al.*, 2004). Esse declínio tem aumentado os esforços de conservação das populações de anfíbios, principalmente em regiões como o Cerrado brasileiro, onde há escassez de dados sobre sua biodiversidade, distribuição e abundância (Young *et al.*, 2001).

Poucos trabalhos têm levado em consideração o efeito da malha rodoviária sobre a biodiversidade do Cerrado (Vieira, 1996; Malheiros, 2004) e sua importância na seleção de áreas prioritárias para conservação. Frequentemente as rodovias são relacionadas com o sucesso de colonização de espécies exóticas (Wester e Juvik, 1983; Tyser e Worley, 1992; Forman e Deblinger, 2000) e como promotoras artificiais de barreiras ecológicas (Furniss *et al.*, 1991; Vos e Chardon, 1998). São, também, responsáveis pela compactação do solo, provocando problemas de drenagem e processos erosivos (Reijnen *et al.*, 1995), além de modificar a composição do solo florestal através do aumento de temperatura e poluição e da diminuição do pH (MacArthur *et al.*, 1979; Fernandez, 1993; Haskell, 2000).

Um dos distúrbios físicos ocasionados pelas rodovias é o aumento da temperatura do asfalto, sendo que o calor liberado na atmosfera à noite cria ilhas de calor que atraem alguns animais (Whitford, 1985), aumentando os riscos de atropelamento. Segundo Vieira (1996), são atropelados 2.700 animais por ano no Cerrado. As estradas não asfaltadas também são responsáveis pela criação de camadas de poeira nas folhas das plantas bloqueando a fotossíntese, a respiração e a transpiração (Farmer, 1993).

Considerando esse panorama, as tentativas de conservação da biodiversidade por meio da criação de unidades de conservação devem levar em consideração a densidade da malha rodoviária. O presente estudo apresenta duas redes de unidades de conservação no bioma Cerrado: uma baseada no conceito de complementaridade (Williams *et al.*, 1996; Margules e Pressey, 2000; Diniz-Filho, 2005b) e outra na distribuição de rodovias. A relação entre essas redes pode ser útil para expressar um potencial conflito de conservação do Cerrado brasileiro.

Material e métodos

A área do Cerrado brasileiro foi recoberta por uma grade com 181 células de 1° latitude e 1° longitude. O bioma cerrado foi visualizado a priori a partir das bases cartográficas do IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/biomas2/viewer.htm>>. Acesso em: 10 jun. 2005), enquanto que os mapas de malha rodoviária foram obtidos a partir do manual Guia Quatro Rodas 2005 (disponível em: <<http://guia4rodas.abril.com.br/loja/index.shtml>>. Acesso em: 30 jun. 2005.), sendo consideradas todas as rodovias existentes (tanto pavimentadas quanto não pavimentadas). Os mapas foram impressos e transcritos para a área selecionada acima, com o objetivo de quantificar a extensão da malha rodoviária (em km) em cada célula, utilizando um curvímeter.

As áreas presumidas de ocorrência de 131 espécies de anfíbios anuros encontrados no Cerrado (Colli *et al.*, 2002) foram mapeadas sobre a mesma grade (uma relação dos gêneros de anuros com distribuição no Cerrado pode ser vista na Tabela 1 de Diniz-Filho *et al.*, 2006). Desta forma, a riqueza de espécies em uma célula foi calculada através do somatório das espécies cuja distribuição compreendia aquela célula.

O algoritmo “*simulated annealing*”, disponível no programa SITES 1.0 (Andelman *et al.*, 1999) foi utilizado para selecionar as áreas prioritárias para a conservação de anuros no Cerrado através de dois cenários. A entrada de dados no programa foi feita com um peso para espécie igual a três, garantindo assim, que todas as espécies fossem selecionadas em todas as soluções fornecidas pelo programa. O primeiro cenário, baseado no conceito de complementaridade, foi repetido 150 vezes (1.000.000 de iterações). A frequência de cada célula nas soluções encontradas indica a importância relativa desta célula e é uma maneira de indicar a “instituíbilidade” da célula (Meir *et al.*, 2004). O segundo cenário atribuiu um peso às células em função da extensão de rodovias (variando de 0 a 1, expressa em cada célula como proporção em relação ao maior valor encontrado que foi de 1793 km em uma única célula), sendo repetido 50 vezes e com 20.000.000 de iterações. Nesse cenário, quanto maior a extensão rodoviária da célula, menor é a chance de entrar na rede de áreas prioritárias para conservação de anfíbios. Finalmente, as soluções que representavam todas as espécies com o menor peso possível foram consideradas. O número de iterações e repetições em ambos cenários foi obtido através de um processo exaustivo de tentativa e erro, assim como o peso da malha viária.

Resultados e discussão

A partir da quantificação da extensão da malha rodoviária observou-se que São Paulo é o estado que apresenta, em média, a maior extensão (em km) de rodovias (Figura 1). No extremo oposto estão os estados da Bahia, Pará e norte de Mato Grosso, sendo os únicos que apresentam células com inexistência de rodovias. Entre todos estados, Minas Gerais foi o que apresentou a célula com maior extensão de rodovias.

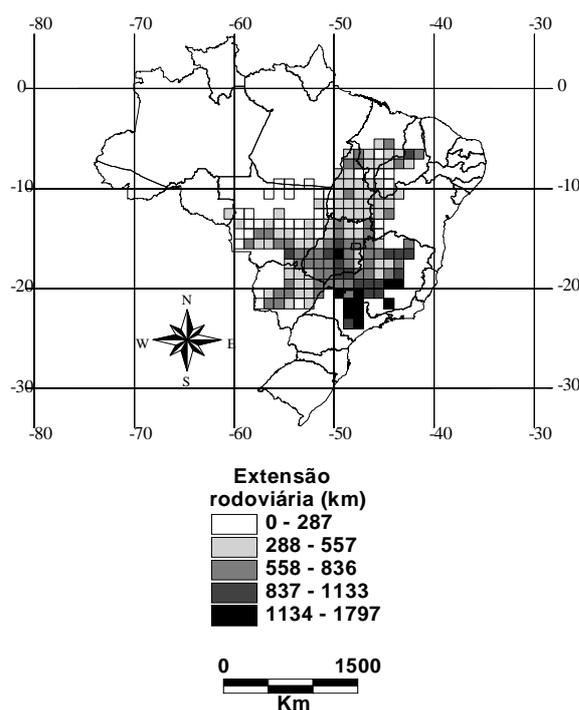


Figura 1. Distribuição da malha viária na área do bioma Cerrado, representada pelo somatório do comprimento das rodovias (em quilômetros) dentro de cada célula, com aresta de 1°.

Todas as soluções fornecidas pelo programa SITES 1.0 (Andelman *et al.*, 1999), em ambos os cenários, evidenciaram que o número mínimo de células necessárias para preservar todas as espécies de anfíbios ao menos uma única vez é 17. Considerando o primeiro cenário, dez células, com média de 741,76 km de rodovias, foram consideradas insubstituíveis (Figura 2), uma vez que apresentaram frequência máxima, ou seja, foram selecionadas em todas as soluções. Entretanto, a medida de insubstituíbilidade das células não foi significativamente correlacionada com sua extensão rodoviária ($r = 0,112$; $P = 0,133$).

A rede selecionada no segundo cenário, onde foi atribuído peso às células em função da extensão da malha rodoviária (Figura 3), apresentou em média 659,71 km por célula. Portanto, o segundo cenário

selecionou, de maneira eficaz, células com menor extensão de rodovias (em média, 82 km a menos por célula) quando comparado com as 10 células insubstituíveis do primeiro modelo.

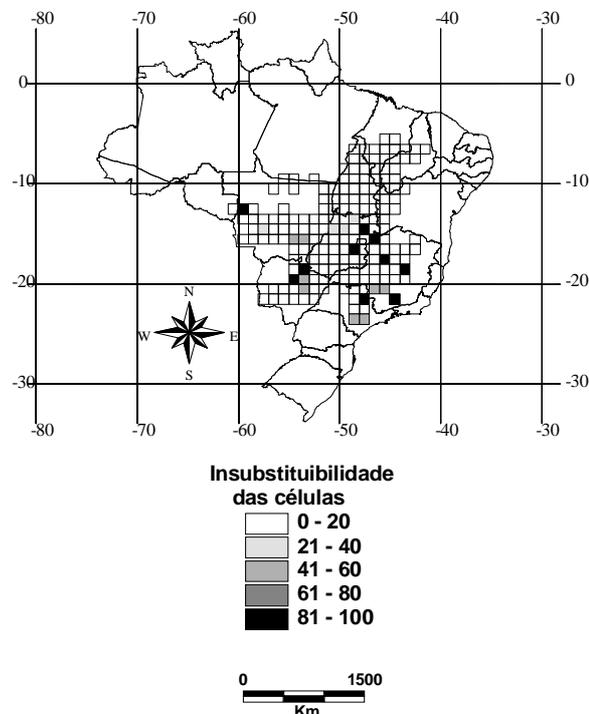


Figura 2. Rede de áreas prioritárias (células negras) para a conservação de anfíbios no bioma Cerrado obtida através do padrão de insubstituíbilidade das células (aresta = 1°) com base na presença/ausência de espécies.

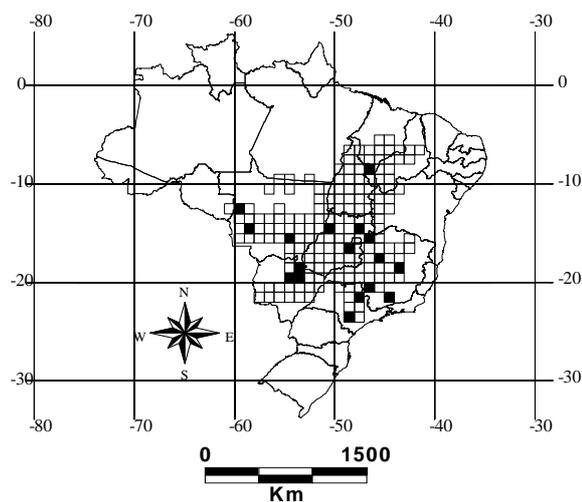


Figura 3. Rede de áreas prioritárias para a conservação de anfíbios no bioma Cerrado obtida através da incorporação de pesos às células (aresta = 1°), com base na extensão da malha rodoviária.

Apesar dos problemas ecológicos decorrentes da malha rodoviária, as duas redes apresentadas neste estudo sugerem que as células onde a criação de

unidades de conservação é necessária encontram-se principalmente em regiões com um nível intermediário de rodovias. No Estado de São Paulo, apesar do alto nível de desenvolvimento humano, duas células foram selecionadas na segunda rede e uma com valor máximo de insubstituibilidade na primeira (Figuras 2 e 3). Por outro lado, constatamos que Estados com pouca malha rodoviária também apresentaram pequena seleção de áreas prioritárias. Resultados semelhantes foram encontrados em estudos realizados no continente europeu e africano, onde o número máximo de espécies foi encontrado em regiões com nível intermediário de desenvolvimento (Balmford *et al.*, 2001; Araújo, 2003).

De certa forma, nossos resultados contrariam alguns conceitos prévios, os quais supõem uma correlação negativa entre ocupação humana (estimada pela extensão de rodovias) e riqueza de espécies. No presente estudo, a extensão rodoviária utilizada para estimar o peso para a criação de unidades de conservação apresentou correlação positiva com a riqueza de espécies de anuros ($r = 0,515$; $P < 0,001$).

Explicações alternativas, tais como gradiente de produtividade (Dodson *et al.*, 2000; Waide *et al.*, 1999), estabilidade climática (Rahbek e Graves, 2001), heterogeneidade espacial (Vetaas e Grytnes, 2002, Guegan *et al.*, 1998) e fatores históricos de ocupação (Diniz-Filho, 2005a) são utilizadas para descrever correlações registradas entre densidade humana e biodiversidade. É provável, por exemplo, que haja maior número de espécies em direção às regiões norte e noroeste do Cerrado (número este sub-estimado pelos inventários), pois a temperatura média e a produtividade aumentam nesta direção e alguns estudos mostram uma relação entre essas variáveis e a diversidade biológica (Allen *et al.*, 2002; Hawkins *et al.*, 2003).

Mais de um mecanismo pode explicar a ocorrência de um maior número de espécies em regiões com alta densidade humana. A qualidade e quantidade de inventários e descrições de espécies (Gaston *et al.*, 1995), pode ser um destes importantes mecanismos, pois regiões com maiores densidades humanas maximizam a chance de observar espécies raras, enquanto que localidades com baixa ocupação podem apresentar riqueza de espécies subestimada (Diniz-Filho, 2005a).

Os resultados deste trabalho indicam as localidades mais importantes (definidas pela medida de insubstituibilidade) para a criação de unidades de conservação visando à preservação de anuros no

Cerrado (primeira rede, Figura 2) e os locais onde deve existir uma unidade de conservação para que todas as espécies de anuros com ocorrência neste Bioma sejam preservadas (segunda rede, Figura 3). Devido aos possíveis problemas decorrentes da malha rodoviária, a segunda rede leva em consideração a quilometragem de rodovias por células, de forma que estas sejam selecionadas com a menor extensão rodoviária. Portanto, sugerimos que a preservação da biodiversidade por meio de unidades de conservação deve levar em consideração dois aspectos: (i) o conceito de complementaridade na seleção de áreas de conservação e (ii) a densidade da malha rodoviária.

Conclusão

Por meio de ambas as redes de otimização, fornecidas pelo presente estudo, evidenciou-se que as dez células insubstituíveis (Figura 2) também foram selecionadas no modelo que maximiza o número de espécies de anfíbios Anuros em detrimento da minimização da extensão da malha rodoviária (Figura 3), denotando uma considerável correspondência entre os mesmos.

Contudo, como os resultados sugerem a criação de unidades de conservação em regiões com nível intermediário de desenvolvimento humano, conclui-se que são necessários novos estudos, utilizando: escalas menores, inventários de maior qualidade, assim como maior quantidade de espécies. Isto possibilitaria alocar as unidades em regiões com menores restrições sócio-econômicas e ambientais.

Assim, uma vez que a relação entre homem e meio ambiente levanta dúvidas sobre como extrair e explorar os recursos naturais sem degradá-los irreversivelmente, trabalhos como este podem auxiliar políticas ambientais por fornecerem ferramentas que procuram conjugar desenvolvimento humano - avaliado através da malha viária existente em todo cerrado - e preservação, através da criação de unidades de conservação

Agradecimentos

Agradecemos aos professores José Alexandre F. Diniz Filho, Luis Mauricio Bini e Paulo de Marco Júnior pelas valorosas sugestões. Além disso, agradecemos ao revisor anônimo desse trabalho pelas importantes correções, observações e sugestões realizadas. Este trabalho pode ser realizado devido ao projeto financiado pelo CNPq/SECTEC-GO (PRONEX no. 23234156) além das bolsas de pós-graduação recebidas do CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico).

Referências

- ALFORD, R.A.; RICHARDS, S.J. Global amphibians declines: a problem in applied ecology. *Annu. Ver. Ecol. Syst.*, Palo Alto, v. 30, p. 133–165, 1999.
- ALLEN, A.P. *et al.* Global biodiversity, biochemical kinetics and the energetic equivalence rule. *Science*, Washington, D.C., v. 297, p.1545–1548, 2002.
- ANDELMAN, S. *et al.* SITES V 1.0. An Analytical toolbox for designing ecoregional conservation portfolios. A manual prepared for the Nature Conservancy, Arlington, 1999.
- ARAÚJO, M.B. The coincidence of people and biodiversity in Europe. *Global Ecol. Biogeogr.*, Oxford, v. 12, p. 5–12, 2003.
- BALMFORD, A. *et al.* Conservation conflicts across Africa. *Science*, Washington, D.C., v. 291, p. 2616–2619, 2001.
- COLLI, G.R. *et al.* The character and dynamics of the Cerrado herptofauna. In: OLIVEIRA, P.S.; MARQUES, R.J. (Ed.). *The Cerrado of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna*. New York: Columbia University Press, 2002. cap. 12, p. 223–241.
- COLLINS, J.P.; STORFER, A. Global amphibian declines: sorting the hypothesis. *Divers. Distrib.*, Edinburgh, v. 9, p. 89–98, 2003.
- DIEMER, M.; SCHMID, B. Effects of biodiversity loss and disturbance on the survival and performance of two *Ranunculus* species with differing clonal architectures. *Ecography*, Lund, v. 24, p. 59–67, 2001.
- DINIZ-FILHO, J.A.F. *et al.* Macroecological correlates and spatial patterns of anuran description dates in the Brazilian Cerrado. *Global Ecol. Biogeogr.*, Oxford, v. 14, p. 469–477, 2005a.
- DINIZ-FILHO, J.A.F. *et al.* Anuran species richness, complementarity and conservation conflicts in Brazilian Cerrado. *Acta Oecol.*, Paris, v. 29, p. 9–15, 2005b.
- DINIZ-FILHO, J.A.F. *et al.* Conservation biogeography of anurans in Brazilian Cerrado. *Biodivers. Conserv.*, Dordrecht, v. 16, n. 4, p. 997–1008, 2007.
- DODSON, S.I. *et al.* The relationship in lake communities between primary productivity and species richness. *Ecology*, Washington, D.C., v. 81, p. 2662–2679, 2000.
- FARMER, A.M. The Effects of Dust on Vegetation - A Review. *Environ. Pollut.*, Amherst, v. 79, p. 63–75, 1993.
- FERNANDEZ, C. The choice of nesting cliffs by golden eagles *Aquila chrysaetos*: the influence of accessibility and disturbance by humans. *Alauda*, Paris, v. 61, p. 105–110, 1993.
- FORMAN, R.T.; DEBLINGER, R.D. The ecological effect zone of a Massachusetts (USA) suburban highway. *Conserv. Biol.*, Gainesville, v. 14, p. 36–46, 2000.
- FURNISS, M.J. *et al.* Road construction and maintenance. *Am. Fish. Soc.*, Bethesda, v. 19, p. 297–323, 1991.
- GASTON, K.J. *et al.* Patterns in Species Description - A Case-Study Using the Geometridae (Lepidoptera). *Biol. J. Linn. Soc.*, London, v. 55, p. 225–237, 1995.
- GUEGAN, J.F. *et al.* Energy availability and habitat heterogeneity predict global riverine fish diversity. *Nature*, London, v. 391, p. 382–384, 1998.
- HASKELL, D.G. Effects of forest roads on macroinvertebrate soil fauna of the Southern Appalachian mountains. *Conserv. Biol.*, Gainesville, v. 14, p. 57–63, 2000.
- HAWKINS, B.A. *et al.* Energy, water and broad-scale geographic patterns of species richness. *Ecology*, Washington, D.C., v. 84, p. 3105–3117, 2003.
- KLINK, C.A.; MACHADO, R.B. Conservation of the Brazilian Cerrado. *Conserv. Biol.*, Gainesville, v. 19, p. 707–713, 2005.
- MALHEIROS, R. *A rodovia e os corredores da fauna do Cerrado*. Goiânia: Ed. da UCG, 2004.
- MARGULES, C.R.; PRESSEY, R.L. Systematic conservation planning. *Nature*, London, v. 405, p. 243–253, 2000.
- McARTHUR, R.A. *et al.* Factors Influencing Heart-Rate in Free-Ranging Bighorn Sheep - Physiological Approach to the Study of Wildlife Harassment. *Can. J. Zool.*, Ottawa, v. 57, p. 2010–2021, 1979.
- MEIR, E. *et al.* Does conservation planning matter in a dynamic and uncertain world? *Ecol. Lett.*, Montpellier, v. 7, n. 8, p. 615–622, 2004.
- MOYLE, P.B; WILLIAMS, J.E. Biodiversity Loss in the Temperate Zone - Decline of the Native Fish Fauna of California. *Conserv. Biol.*, Gainesville, v. 4, p. 275–284, 1990.
- MYERS, N. *et al.* Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, London, v. 403, p. 853–858, 2000.
- PRESSEY, R.L. *et al.* Beyond Opportunism - Key Principles for Systematic Reserve Selection. *Trends Ecol. Evol.*, London, v. 8, p. 124–128, 1993.
- PRIMACK, R.B.; RODRIGUES, E. *Biologia da Conservação*. 3. ed. Londrina: Midiograf, 2001.
- RAHBEK, C.; GRAVES, G.R. Multiscale assessment of patterns of avian species richness. *P. Natl. Acad. Sci.*, Washington, D.C., v. 98, p. 4534–4539, 2001.
- REIJINEN, R. *et al.* The effects of car traffic on breeding bird populations in woodlands. III. Reduction of density in relation to the proximity of main roads. *J. Appl. Ecol.*, London, v. 32, p. 187–202, 1995.
- SILVA, J.M.C. *et al.* O destino das áreas de endemismo da Amazônia. *Megadiversidade*, Manaus, v. 1, p. 124–131, 2005.
- STUART, S.N. *et al.* Status and trends of amphibian declines and extinctions worldwide. *Science*, Washington, D.C., v. 306, p. 1783–1786, 2004.
- TYSER, R.W.; WORLEY, C.A. Alien Flora in Grasslands Adjacent to Road and Trail Corridors in Glacier National-Park, Montana (USA). *Conserv. Biol.*, Gainesville, v. 6, p. 253–262, 1992.
- VETAAS, O.R.; GRYTNES, J.A. Distribution of vascular plant species richness and endemic richness along the Himalayan elevation gradient in Nepal. *Global Ecol. Biogeogr.*, Oxford, v. 11, p. 291–301, 2002.
- VIEIRA, E.M. Highway mortality of mammals in central

- Brazil. *Cienc. Cult. J. Braz. Assoc. Adv. Sci.*, Campinas, v. 48, p. 270-272, 1996.
- VOS, C.C.; CHARDON, J.P. Effects of habitat fragmentation and road density on the distribution pattern of the moor frog *Rana arvalis*. *J. Appl. Ecol.*, London, v. 35, p. 44-56, 1998.
- WAIDE, R.B. *et al.* The relationship between productivity and species richness. *Annu. Ver. Ecol. Syst.*, Waterloo, v. 30, p. 257-300, 1999.
- WESTER, L.; JUVIK, J.O. Roadside Plant-Communities on Mauna-Loa, Hawaii. *J. Biogeogr.*, Oxford, v. 10, p. 307-316, 1983.
- WHITFORD, P.C. Bird behavior in response to the warmth of blacktop roads. *T. Wisc. Acad. Sci.*, Madison, v. 73, p.135-143, 1985.
- WILLIAMS, P.H. *et al.* Comparison of richness hotspots, rarity hotspots and complementary areas for conserving biodiversity, using British birds. *Conserv. Biol.*, Gainesville, v. 10, p. 155-174, 1996.
- YOUNG, B.E. *et al.* Population declines and priorities for Amphibian conservation in Latin America. *Conserv. Biol.*, Gainesville, v. 15, p. 1213-1223, 2001.

Received on September 06, 2006.

Accepted on November 30, 2006.