

Proposta metodológica para análise espacial de qualidade de habitat para mamíferos de grande porte em fragmento de cerrado

Iris Amati Martins¹
Marisa Dantas Bitencourt¹
Carlos Felipe Perez¹
Kitaro Suenaga Jardineiro¹

¹ Universidade de São Paulo - USP/IB - LEPAC
Rua do Matão, Trav. 14, nº 321 05508-900 São Paulo - SP – BR
imartins@ib.usp.br

Abstract: The search for rapid and reliable methods to allocate areas with ecological values for different groups of animals has arising great interest now-a-days. The developed methodology at the present work aim to determine the variation of the habitat quality within a São Paulo State cerrado remnant (2,098ha), using remote sensing and geoprocessing techniques. According to the environmental needs of each species, were selected abiotic and biotic criteria that could be inserted on a decision making model in order to influence habitat quality and infer three mammals species occurrence: *Myrmecophaga tridactyla* - great anteater, *Tapirus terrestris* - tapir, and *Puma concolor* - puma. Those criteria were evaluated by experts, who assign specific weights according to species environmental needs. Thus, three Opportunity Maps were developed through a Multi Criteria Evaluation, which were validated in the field (trace sensing and cam trapping). The model used showed very robust in predicting coherently the habitat quality using the occurrence of the target species. The great anteater were detected in 66,7% of the traces in favorable areas; for tapir, 71,4% of very favorable areas; and for puma 28,2% in regular areas, 41% in favorable areas, and 15,4% in very favorable areas.

Key words: Remote Sensing, Geographic Information System, Geoprocessing, Habitat quality, Decision Making Model, Sensoriamento Remoto, Sistema de Informação Geográfica, Geoprocessamento, Qualidade de habitat, Modelo de Tomada de Decisão

1. Introdução

Proteger a diversidade biológica envolve difíceis tomadas de decisão, já que estas muitas vezes são baseadas em conhecimentos deficientes (Figueiredo *et al.* in Rocha *et al.* 2006). Neste cenário, torna-se imperativa a busca por metodologias que possam ser utilizadas como ferramentas de conservação de espécies, auxiliando tomadores de decisão a direcionar com mais embasamento as suas estratégias de manejo e conservação. Conceitos de ecologia da paisagem, juntamente com sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento, em particular os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), podem ser algumas dessas ferramentas.

Clevenger *et al.* (2002) desenvolveu três modelos de habitat para *Ursus americanus*, um baseado em dados empíricos e os outros dois baseados em informações de especialistas (opinião pessoal e literatura em relação aos requerimentos ambientais da espécie). Os resultados apresentados demonstraram que o modelo baseado na literatura especializada se aproximou muito do modelo baseado em dados empíricos. Macdonald *et al.* (2003) realizou a correspondência entre categorias de habitat e os requerimentos ambientais (recursos) para duas espécies de roedores e duas de marsupiais. As categorias de habitat forneceram boas variáveis para predizer a distribuição da espécie. Hume *et al.* (2007) determinaram quais as características da paisagem eram capazes de explicar e predizer os padrões de ocupação de uma espécie de esquilo planador (*Pteromys*) em manchas de habitat. Para isto, eles classificaram imagens de satélite visando categorizar a área de estudo e gerar um modelo utilizando as variáveis da paisagem.

A utilização de imagens de satélite, de mapas existentes ou aerofotografias (sensoriamento remoto) permite que se modelem as possíveis relações entre os habitats e as espécies. Mapas topográficos, por exemplo, podem revelar uma grande variedade de informações espaciais complexas (elevação, declividade, aspecto) em uma representação gráfica simples (Fischer *et al.* 2004).

O presente estudo tem como objetivo apresentar uma proposta metodológica que mostre espacialmente a qualidade de habitats, que possa ser aplicado a qualquer situação. A base dessa proposta metodológica é a análise geográfica computadorizada a qual se espera chegar a Mapas de Oportunidades (qualidade de habitat) compatíveis com espécies de mamíferos de grande porte. Esta proposta metodológica poderá ser um instrumento de medida de eficácia, na compreensão do comportamento das espécies em ambientes alterados.

2. Materiais e Métodos

Área de Estudo. - A área de estudo compreende um fragmento de cerrado com aproximadamente 2.098ha, inserido na Fazenda Alvorada de Bragança, no sudeste do estado de São Paulo, município de Campos Novos Paulista: 22°30'S, 50°00'W (Figura 1).

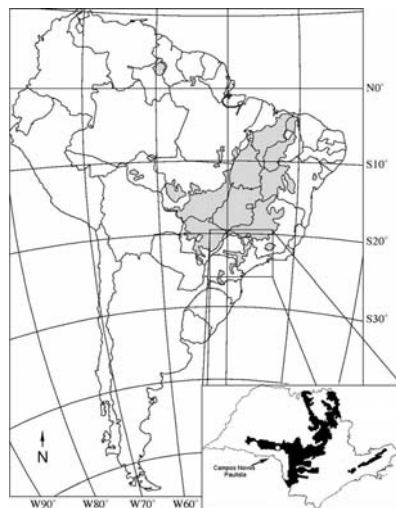


Figura.1. - Distribuição do domínio cerrado na América do Sul. O mapa em destaque apresenta a extensão do cerrado no Estado de São Paulo (IBGE, 1993) e a localização da área de estudo (fonte: Bitencourt et al. 2007).

Análise Espacial. - Para desenvolvimento da análise espacial computadorizada foi utilizado o programa IDRISI Andes desenvolvido pela Clark University (Eastman 2006).

O objetivo foi determinar habitats adequados para espécies de mamíferos de grande porte. Para isto, foram selecionados onze critérios capazes de influir na qualidade do habitat: sete critérios físicos (altitude, declividade, orientação de vertentes, distância de corpos d'água, distância do linhão, distância de estradas e distância da borda) e quatro critérios bióticos (fitofisionomias) como mostra a Figura 3.

Foram selecionadas três espécies de mamíferos que ocorrem na área de estudo para o desenvolvimento e validação do modelo: duas espécies de mamíferos especialistas (*Myrmecophaga tridactyla*; e *Tapirus terrestris*) e uma generalista (*Puma concolor*). O modelo busca retratar espacialmente a qualidade do habitat, inferida a partir dos critérios físicos e bióticos, e das características ecológicas (exigências ambientais) intrínsecas a cada espécie. Os produtos serão três mapas temáticos (Mapas de Oportunidades), um para cada espécie, que serão validados a partir dos dados de frequência de ocorrência obtidos na etapa de campo.

A primeira etapa do desenvolvimento dos critérios físicos foi a caracterização do relevo, realizada a partir das cartas do IBGE (1972), das quais foram extraídas as curvas de nível. Através das técnicas de geoprocessamento e a partir das curvas de nível foi gerado o Modelo Numérico do Terreno (MNT), que por sua vez derivou três mapas temáticos: a) mapa clinográfico (classes de declividade); b) mapa hipsométrico (classes de altitudes); c) mapa de orientação de vertentes, o qual permite avaliar o grau de insolação, o nível de umidade, bem como a influência dos ventos em uma determinada área.

Os dados referentes à drenagem, perímetro do fragmento, localização do linhão e estradas foram obtidos a partir de imagem de satélite CBERS-2 de 06/09/2006 (resolução espacial de 20 X 20 metros) e da coleta de dados em pontos fixos durante a campanha de campo, com o auxílio de GPS (Global Position System), *datum* Córrego Alegre. Para as espécies em questão, foi determinado que a influência do corpo d'água e da estrada seria de 500m, e a influência do linhão e da borda seria de 100m. Determinou-se também que quanto maior for a distância das estradas, bordas e linhão, melhor será a qualidade do habitat, assim como quanto menor a distância dos corpos d'água.

A classificação fitofisionômica foi realizada a partir de imagens obtidas pelo satélite CBERS-2 nas faixas do vermelho e do infravermelho próximo. O passo seguinte foi gerar uma imagem de Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (IVDN), que resultou da resposta espectral da vegetação nas faixas do vermelho e do infravermelho próximo. Os valores da imagem IVDN variam de -1 a +1 sendo a vegetação mais densa próxima de +1. Assim, sabendo-se que o fragmento é constituído de Cerrado *sensu strictu* e Cerradão, mais fisionomias associadas (Bitencourt *et al.*, 2007), produziu-se quatro mapas temáticos da cobertura vegetal: Cerrado *s.s.* denso, Cerrado *s.s.* típico, Cerradão e campo úmido, cujos intervalos foram de 0,54 – 0,59 para cerradão; 0,44 – 0,53 para Cerrado *s.s.* denso; de 0,37 – 0,43 para Cerrado *s.s.* típico; e de 0,11 a 0,36 para campo úmido.

Como os critérios utilizados apresentam classes com intervalos tanto qualitativos como quantitativos, houve a necessidade de padronização que foi realizada com a transformação em conjuntos fuzzy (escala de intervalo de 0 a 255, representada em variações de cores). Esta padronização é expressa na seguinte equação: $X_i = (R_i - R_{\min}) / (R_{\max} - R_{\min}) * 255$, onde R_i é o número a ser padronizado; X_i é o número a ser padronizado na escala de 0-255; R_{\min} é o menor valor da escala na qual pertence o número a ser padronizado; e R_{\max} é o maior valor da escala na qual pertence o número a ser padronizado.

A seguir, os critérios foram comparados dois a dois através de matriz quadrada, utilizando-se o Processo Hierárquico Analítico (AHP), desenvolvido por Saaty (1977) e corroborado por Eastman *et al.* (1995) e Eastman (1997). Neste processo, os critérios foram hierarquizados de acordo com a sua importância em uma escala de 1/9 (menos importante) a 9 (mais importante). Esta análise foi realizada por um conjunto de pesquisadores especialistas independentes, conforme Saaty (1977) sugere.

A taxa de consistência da matriz (CR) foi calculada para determinar se houve coerência da intensidade proporcional de um elemento da matriz em relação aos outros. A expressão utilizada no cálculo foi $CR = [(\lambda_{\max} - n) / (n - 1)] / R_i$, onde R_i mede o índice do acaso de uma matriz e é chamado de índice de consistência de uma matriz a ser gerada ao acaso na escala de 1/9 a 9; λ_{\max} é o valor principal e reflete a proporção da preferência; e n é o número de linhas e colunas da matriz quadrada. Quanto mais próximo for λ_{\max} do n , mais consistente será a matriz. Os dados da matriz foram, então, convertidos em pesos (autovalores) a partir do cálculo matricial proposto por Eastman (1997).

No total foram desenvolvidas três matrizes quadradas, uma para cada espécie-alvo, partindo-se do pressuposto de que estas espécies possuem exigências ambientais diferentes. Os resultados foram pesos diferentes para um mesmo critério.

A próxima etapa foi a geração dos Mapas de Oportunidades (qualidade de habitat) a partir da avaliação multicritério (MCE), onde os critérios e seus respectivos pesos foram inseridos no programa IDRISI Andes. A eficácia do modelo final foi avaliada a partir dos dados de frequência das espécies de mamíferos em questão, obtidos na etapa de campo. A Figura 3 mostra o fluxograma de todo o trabalho.

Pesquisa de campo. - A amostragem foi realizada de 17/03 a 21/04/2008, utilizando o censo de pegadas e de outros vestígios (fezes e arranhões) ao longo de trilhas e do corredor de mata ripária. Também foram utilizadas 7 armadilhas fotográficas com sensor de movimento (Stealth Cam STC-AD3 - USA) e 5 plots de pegadas.

Os Mapas de Oportunidades foram utilizados como base para o desenvolvimento dos trabalhos de campo, os quais compreenderam amostragens sistemáticas das espécies alvo do estudo. Sendo assim, a decisão sobre a disposição das trilhas e das armadilhas fotográficas foi tomada a partir destes mapas, de forma a englobar áreas com diferentes níveis de qualidade dentro do fragmento.

Validação do modelo. - Os pontos de ocorrência das espécies foram sobrepostos aos seus respectivos mapas temáticos (Mapa de Oportunidades) para determinar se a análise espacial da qualidade do habitat pode prever a ocorrência das espécies em habitats com melhores condições ambientais.

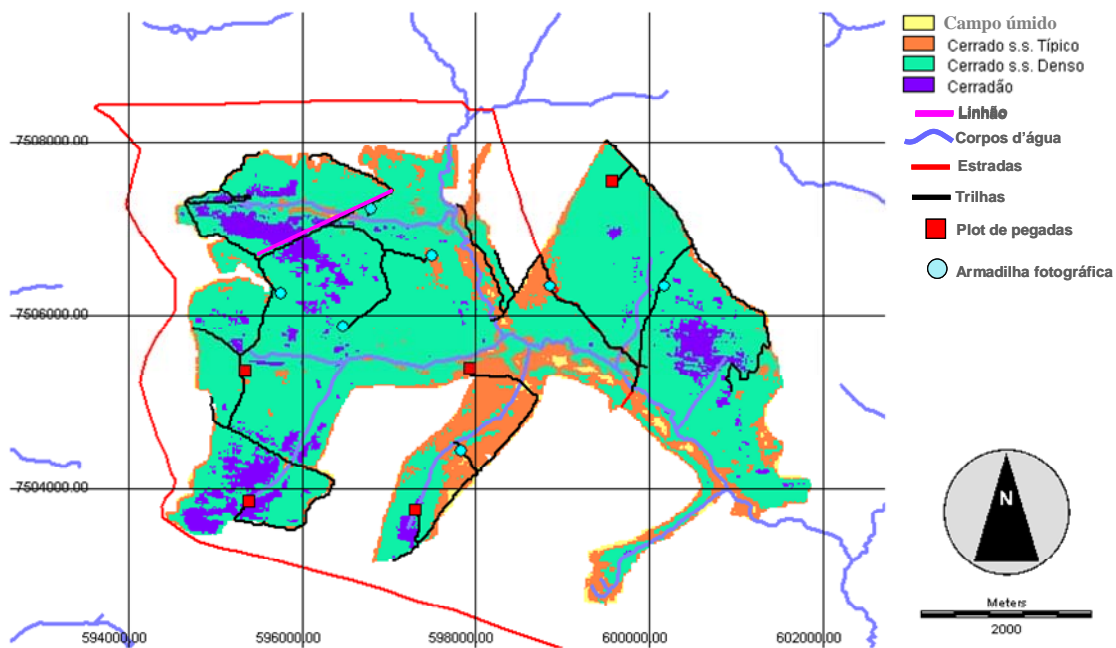
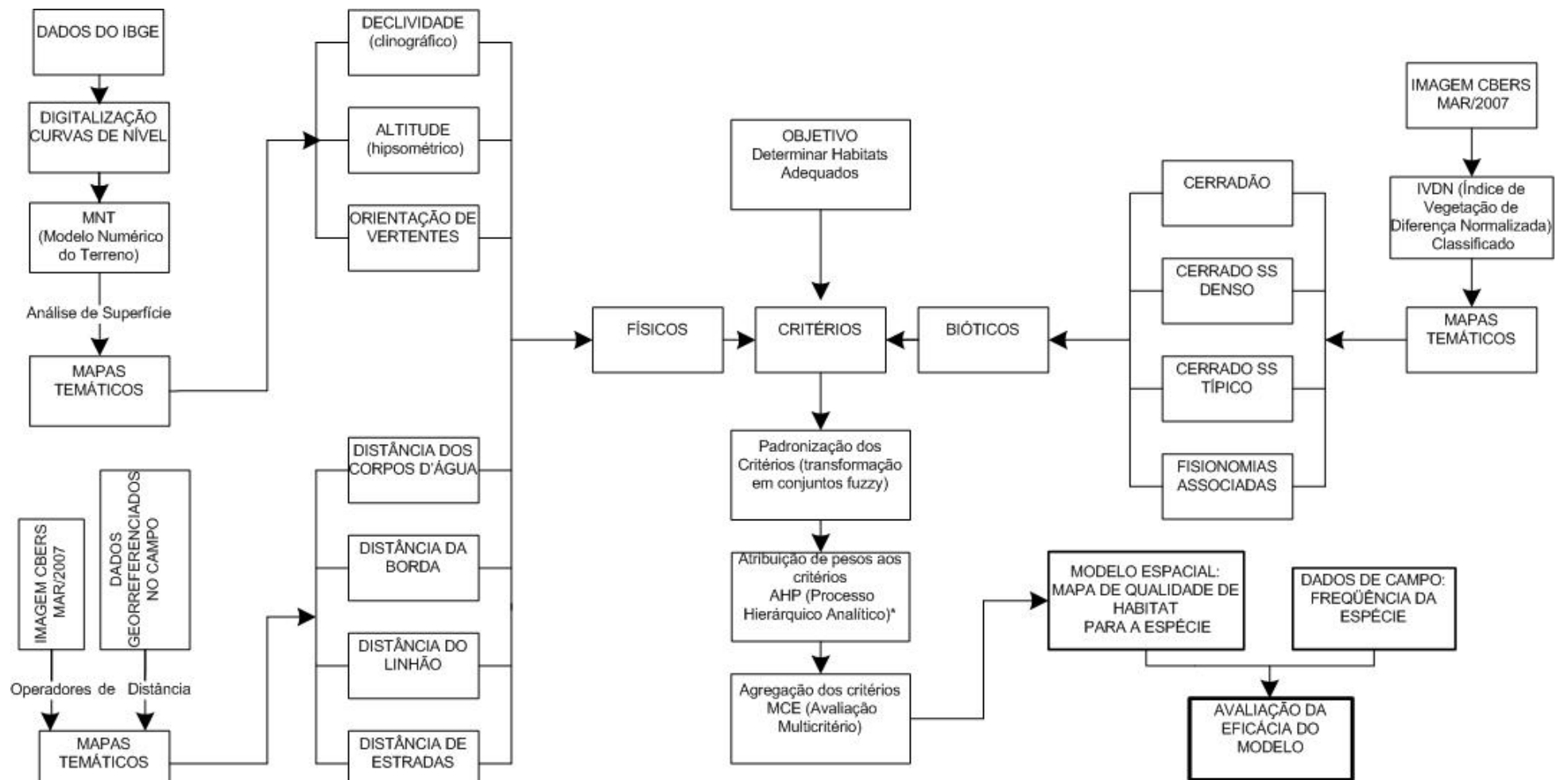


Figura. 2. – Mapa síntese da distribuição das fisionomias de cerrado e fisionomias associadas no fragmento estudado, mais limite do fragmento, drenagem e estradas. A este mapa foram acrescentadas as indicações das trilhas percorridas, dos plots de pegadas e das armadilhas fotográficas, após visita à campo.



* A atribuição dos pesos foi realizada através de consulta a especialistas.

Figura 3. – Fluxograma apresentando as etapas (obtenção dos dados, procedimentos e produtos finais) da análise em ambiente de SIG (Sistema de Informação Geográfica) para desenvolvimento do modelo de qualidade de habitat.

3. Resultados

Através da análise dos mapas hipsométrico e clinográfico, foi possível caracterizar a área como plana, apresentando pouca declividade acompanhando o curso dos corpos d'água. O mapa temático de cobertura vegetal mostra a presença de manchas de campos úmidos, cerradão e cerrado *sensu strictu* típico, imersas em cerrado *sensu strictu* denso (Figura 2). Esta classificação, proposta por Durigan et. al. (2004), foi mantida durante a classificação da Imagem Índice de Vegetação (Figura 2).

Estes critérios, em conjunto com os demais critérios físicos (Figura 3), foram comparados dois a dois através de uma matriz quadrada. As matrizes resultantes apresentaram-se consistentes: taxa de consistência da matriz para *M. tridactyla* = 0,06; taxa de consistência da matriz para *T. terrestris* = 0,09; taxa de consistência da matriz para *P. concolor* = 0,04. Os autovalores dos pesos gerados para cada critério em relação a cada espécie encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. – Autovalores dos pesos gerados no Processo Hierárquico Analítico (AHP) para cada critério em relação às espécies-alvo.

Critérios	Autovalores dos Pesos		
	<i>M. tridactyla</i>	<i>T. terrestris</i>	<i>P. concolor</i>
Orientação de vertentes	0.0236	0.0295	0.0222
Declividade	0.0253	0.0211	0.0191
Altitude	0.0173	0.0159	0.0151
Distância de estradas	0.0942	0.0717	0.055
Proximidade com corpos d'água	0.0839	0.1589	0.0833
Distância da borda	0.06	0.0547	0.0397
Distância do linhão	0.0457	0.037	0.0312
Cerradão	0.1206	0.1212	0.1388
Cerrado ss mais denso	0.1742	0.1475	0.2049
Cerrado ss típico (mais aberto)	0.2195	0.0898	0.197
Fisionomias associadas	0.1357	0.2529	0.19037

Estes pesos e seus respectivos critérios foram inseridos no modelo Avaliação Multicritério (MCE) disponível no IDRISI, gerando três Mapas de Oportunidades em escala contínua de qualidade, envolvendo habitats encontrados no interior do fragmento e matriz, composta predominantemente por pastagem (Figuras 4, 5 e 6). Os Mapas de Oportunidades gerados (Figuras 4, 5 e 6) apresentam em comum uma faixa muito desfavorável, que corresponde à estrada. Nestes mapas também é possível observar que a qualidade da mata ripária diminui quando esta sai do fragmento e entra em contato direto com a matriz antrópica, constituída predominantemente por pasto, o qual apresenta influência negativa na qualidade do habitat. A influência negativa do linhão é menos intensa em relação à influência da estrada. O rio e a mata ripária foram os grandes contribuidores para determinação dos habitats com melhores qualidades.

A Figura 4, desenvolvida para determinar a qualidade do habitat para *M. tridactyla* segundo suas necessidades ambientais, apresenta áreas com melhor qualidade associadas às fisionomias cerrado *s.s.* denso, cerrado *s.s.* típico e mata ripária. Na Figura 5, desenvolvida para *T. terrestris*, é possível observar que os habitats com melhor qualidade encontram-se fortemente associados aos corpos d'água e mata ripária. O efeito negativo da borda no fragmento é mais sobressalente neste mapa. A Figura 6, desenvolvida para *P. concolor*, assemelha-se à Figura 5, no entanto existe maior influência da mata ripária e do rio no aumento da qualidade do habitat e menor influência das variações fitofisionômicas.

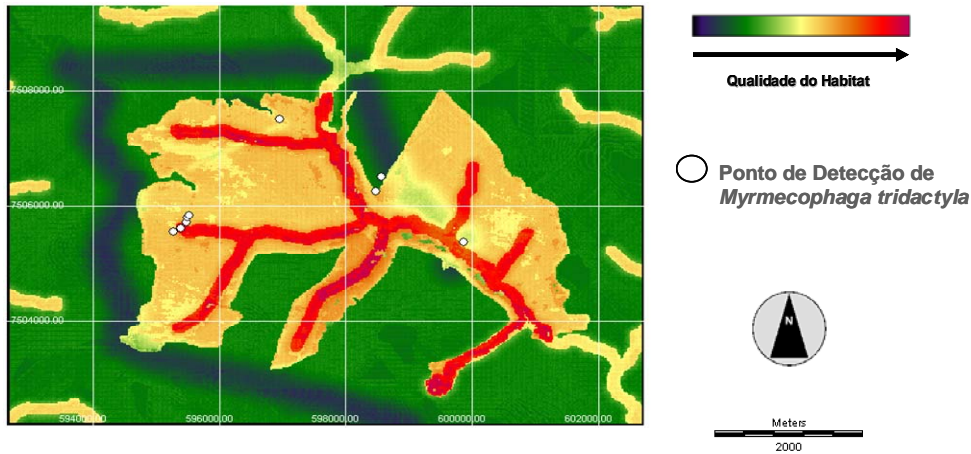


Figura 4. - Mapa de Oportunidades para tamanduá-bandeira (*Myrmecophaga tridactyla*), apresentando escala contínua de qualidade dos habitats encontrados no fragmento e matriz (pasto), e os pontos de detecção obtidos na etapa de campo.

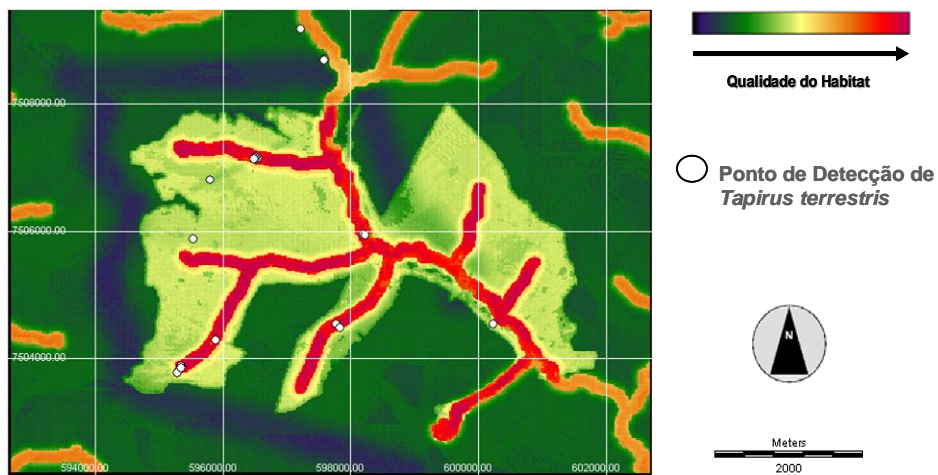


Figura 5. - Mapa de Oportunidades para anta (*Tapirus terrestris*), apresentando escala contínua de qualidade dos habitats encontrados no fragmento e matriz (pasto), e os pontos de detecção obtidos na etapa de campo.

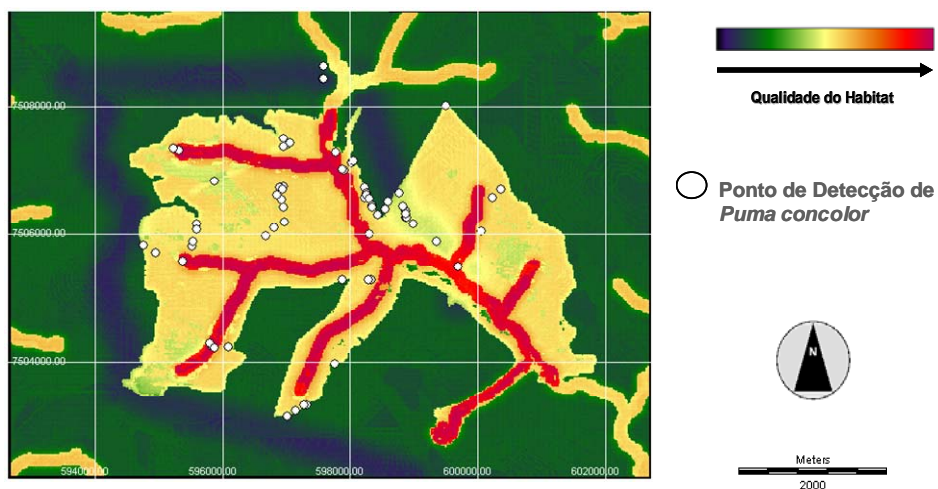


Figura 6. - Mapa de Oportunidades para onça-parda (*Puma concolor*), apresentando escala contínua de qualidade dos habitats encontrados no fragmento e matriz (pasto), e os pontos de detecção obtidos na etapa de campo.

Para a validação do modelo proposto (Mapas de Oportunidades) foram inseridos os dados de detecção das espécies-alvo nas Figuras 4, 5 e 6. A Tabela 2 apresenta dados da ocorrência (número e porcentagem de detecções) das espécies *M. tridactyla*, *T. terrestris* e *P. concolor* em função da qualidade do habitat observada em seus respectivos Mapas de Oportunidades. Ao longo das trilhas, foram detectados 78 registros de *P. concolor* (59 de pegadas, 6 de fezes, 13 de arranhões em árvores), 28 registros de *T. terrestris* (pegadas) e 9 registros de *M. tridactyla* (pegadas). Estas espécies não foram identificadas através do armadilhamento fotográfico.

Tabela 2. – Dados de ocorrência (número e porcentagem de detecções) das espécies *M. tridactyla*, *T. terrestris* e *P. concolor* em função da qualidade do habitat.

Espécies	Total det/espécie	Escala de Qualidade de Habitat									
		Muito desfavorável		Desfavorável		Regular		Favorável		Muito favorável	
		nºdet	% det	nºdet	% det	nºdet	% det	nºdet	% det	nºdet	% det
<i>Mymecophaga tridactyla</i>	9	1	11.1	0	0.0	1	11.1	6	66.7	1	11.1
<i>Tapirus terrestris</i>	28	0	0.0	2	7.1	5	17.9	1	3.6	20	71.4
<i>Puma concolor</i>	78	2	2.6	10	12.8	22	28.2	32	41.0	12	15.4
Total det/habitat	–	3	–	12	–	28	–	39	–	33	–
Média	–	1.5	–	6.0	–	14.0	–	19.5	–	16.5	–

*det= detecções

4. Discussão e Conclusões

O modelo de tomada de decisão foi aplicado em escala local, as variáveis ambientais são espacialmente explícitas e a validação é simples, sendo assim, a aplicabilidade deste modelo se mostrou viável e pôde gerar resultados robustos, mais próximos da realidade.

A metodologia proposta no presente estudo foi desenvolvida através de um processo dedutivo-indutivo, onde houve a aplicação do modelo e a sua validação, permitindo apresentar três cenários diferentes para duas espécies de mamíferos especialistas (*M. tridactyla* e *T. terrestris*) e uma generalista (*P. concolor*).

A viabilidade do modelo está relacionada ao fato de que existem informações acessíveis para o desenvolvimento de uma análise espacial, voltada para a caracterização ambiental de áreas naturais ou antropizadas: consulta a especialistas para determinar os pesos das variáveis ambientais; o uso do AHP é simples e garante consistência no desenvolvimento dos pesos modelos de tomada de decisão (MCE) incluídos no SIG do *software* Idrisi; imagens do satélite CBERS-2 gratuitas e acessíveis.

O modelo de tomada de decisão foi capaz de prever a ocorrência de *M. tridactyla*; *T. terrestris* e *P. concolor* no fragmento de cerrado. Isto pode ser observado a partir dos Mapas de Oportunidades (Figuras 4, 5 e 6) e Tabela 2, onde *M. tridactyla* foi detectado mais frequentemente nas áreas favoráveis, *T. terrestris* nas áreas muito favoráveis e *P. concolor* em áreas favoráveis e regulares. Em áreas muito desfavoráveis apenas foram detectados 2 registros de *P. concolor* e 1 registro de *M. tridactyla*.

O modelo utilizado, portanto, apresentou-se robusto ao prever a qualidade do habitat a partir da ocorrência das espécies-alvo. No entanto, o modelo apresenta algumas restrições: a) restringe-se às áreas do domínio do cerrado; b) *a priori* foi desenvolvido para áreas que sofrem pressão antrópica; c) não foi levado em consideração o efeito da sazonalidade das espécies cujos os resultados são válidos para a estação chuvosa.

Em linhas gerais, pode-se concluir que o foco das práticas de conservação em paisagens modificadas pode obter mais sucesso se for direcionado aos requerimentos ambientais da

espécie em questão, levando em consideração que cada organismo possui requerimentos diferentes de habitat.

Os mapas de oportunidades podem subsidiar a investigação e/ou planejamento de cenários relevantes de mudança de habitat e o seu efeito na composição de mamíferos em determinada área tornando-se uma ferramenta importante na conservação de espécies principalmente em um bioma tão degradado quanto o cerrado.

5. Agradecimentos

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela bolsa concedida e auxílio às atividades de campo. À Neotropical Grassland Conservancy (NGC) pela doação das armadilhas fotográficas ao projeto e pelo financiamento de parte do campo. Ao Sr. Eliezer Steinbruch e ao Grupo Vicunha por permitir a realização dos trabalhos de campo na fazenda Alvorada de Bragança. Aos especialistas que auxiliaram na elaboração dos pesos dos critérios.

6. Referências Bibliográficas

Bitencourt, M D.; Mesquita JR, H. N.; Kuntschik, G.; Rocha, H. R.; Furley, P. A. Cerrado vegetation study using optical and radar remote sensing: two Brazilian case studies. **Canadian Journal of Remote Sensing**, 2007. 33:468-480.

Clevenger, A.P.; Wierzchowski, J.; Chruszcz, B.; Gunson, K. GIS-generated, expert-based models for identifying wildlife habitat linkages and planning mitigation passages. **Conservation Biology**, 2002. 16:503-514.

Eastman, J.R.; Jin, W.; Kyem, P.A.K.; Toledo, J. Raster procedure for multi-criteria/multi-objectives decisions. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. 1995 61:539-547.

Eastman, J.R. **Idrisi for Windows user's guide**. 1997. Clark University Laboratory, Clark University, Worcester, Pennsylvania.

Eastman, J.R. **IDRISI Andes**. 2006. Clark University Laboratory, Clark University, Worcester, Pennsylvania.

Figueiredo, W.M.B.; Silva, J.M.C.; Souza, M.A. Biogeografia e a conservação da biodiversidade. Pp.135-156 In Rocha, C.F.D.; Bergallo, H. G.; Sluys, M.V.; Alves, M.A.S. 2006. **Biologia da Conservação: Essências**. São Carlos: Editora Rima.

Fischer, J.; Lidenmayer, D.B.; Fazey, I. 2004. Appreciating Ecological Complexity: habitat contours as a conceptual landscape model. **Conservation Biology** 18:1245-1253.

Hume, E.; Reunanen, P.; Mönkkönen, M.; Nikula, A.; Nivala, V.; Oksanen, J. Local habitat patch pattern of the siberian flying squirrel in a managed boreal forest landscape. **Ecography**, 2007. 30:277-287.

Macdonald, D.W.; Rushton, S. Modelling space use and dispersal of mammals in real landscapes: a tool for conservation. **Journal of Biogeography**. 2003. 30:607-620.

Saaty, T. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **J. Math Psychol.** 1977. 15:234-281.