

MODELAGEM PREDITIVA DE DISTRIBUIÇÃO DE ESPÉCIES AMEAÇADAS DE EXTINÇÃO: UM PANORAMA DAS PESQUISAS

Brenda da Rocha Alexandre^{1}, Maria Lucia Lorini^{1,2,3} and Carlos Eduardo de Viveiros Grelle^{1,3}*

¹ Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Biologia, Departamento de Ecologia, Laboratório de Vertebrados. Ilha do Fundão. Caixa Postal: 68020. Rio de Janeiro, RJ, Brasil. CEP: 21941-590.

² Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Instituto de Biociências, Departamento de Ciências Naturais, Laboratório de Análise Geoespacial em Biodiversidade e Temas Ambientais (GEOBIOTA), Av. Pasteur, 458, Urca. Rio de Janeiro, RJ, Brasil. CEP: 22290-040.

³ Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Biologia, Departamento de Ecologia, Programa de Pós-graduação em Ecologia. Ilha do Fundão. Caixa Postal: 68020. Rio de Janeiro, RJ, Brasil. CEP: 21941-590.

E-mails: brenda_lex@yahoo.com.br, marialucia.lorini@gmail.com, grellece@biologia.ufrj.br

RESUMO

O conhecimento sobre a distribuição geográfica das espécies e os fatores que influenciam a ocorrência das espécies é especialmente importante para a conservação da biodiversidade. A modelagem preditiva de distribuição de espécies (MPDE) pode constituir um importante instrumento para embasar estudos e aplicações voltadas para a conservação de espécies ameaçadas de extinção. Nesse estudo, realizamos uma avaliação cientométrica com enfoque em artigos sobre modelagem preditiva de espécies ameaçadas de extinção, onde levantamos alguns aspectos sobre os estudos publicados nesse campo: representatividade e tendências da produção acadêmica, temas dos estudos, utilização ou não de variáveis indicadoras de antropização na modelagem, variáveis ambientais incluídas na análise, escalas utilizadas nos estudos e variação da importância de variáveis ambientais em diferentes escalas. Analisamos 101 artigos sobre modelagem preditiva de espécies ameaçadas, que representaram apenas 11% da produção global sobre MPDE. O tema mais frequente nos artigos relacionou-se à indicação de áreas prioritárias para conservação. Mais da metade dos trabalhos incluíram variáveis indicadoras de antropização e as escalas espaciais mais frequentes foram a macrorregional/global e regional. Já a abordagem multiescalar foi encontrada em apenas 10% dos artigos. Considerando os estudos analisados, parece haver uma relação entre variáveis climáticas e macro-escalas e variáveis não-climáticas e escalas de menor extensão, conforme previamente apontado na literatura, contudo, ressaltamos que quase um terço dos estudos não concordou com esse padrão. Este artigo oferece uma visão geral das abordagens utilizadas em estudos sobre modelagem preditiva de espécies ameaçadas e visa incentivar a discussão sobre o uso de variáveis indicadoras de antropização e de análises multiescalares.

Palavras-chave: cienciométrica; distribuição geográfica; modelagem de distribuição de espécies; modelagem de nicho ecológico; multiescala.

ABSTRACT

DISTRIBUTION PREDICTIVE MODELING OF ENDANGERED SPECIES: OVERVIEW OF RESEARCH

The knowledge about species geographical distribution and the factors that influence species occurrence is especially important for biodiversity conservation. Species distribution predictive modeling (SDPM) can be an important tool to support studies and applications for conservation of endangered species. Here, we used a scientometric approach to evaluate the academic production on distribution predictive modeling of endangered species, analyzing some relevant aspects about the published studies on this topic: representation and trends of the academic research, research themes, use of variables indicating anthropism, environmental variables included in analysis, scales and variation of the importance of environmental variables on different scales. We analyzed 101 papers about predictive modeling of endangered species that represented only 11% of global studies on SDPM. The most frequent topic in the papers was related to indication of priority areas for conservation. Over half of the studies included variables indicating anthropism and the most common spatial scales were macro-regional/global and regional. On the other hand, the multiscale approach was found in only 10% of the papers. Considering the studies analyzed, there seem to be a relationship between climatic variables and macro-scales and non-climatic variables and fine scales, as previously reported in the literature, however, we emphasize that almost a third of the studies disagreed with this pattern. This study provides an overall view of the approaches used in predictive modeling studies on endangered species and is intended to stimulate discussion about the use of variables indicating anthropism and multiscale analysis.

Key words: scientometrics; geographical distribution; species distribution modeling; ecologic niche modeling; multiscale.

INTRODUÇÃO

As transformações antropogênicas sobre o planeta atingiram tamanha significância em termos de extensão e propagação que muitos cientistas já reconhecem uma nova época geológica: o Antropoceno (Crutzen 2002, Zalasiewicz *et al.* 2010). A influência humana já se reflete em grande parte da superfície terrestre (Vitousek *et al.* 1997, Sanderson *et al.* 2002), destacando-se os mais de 30% de área já convertidos ao uso agropecuário (SCBD 2010). A magnitude das atividades antrópicas sobre a superfície terrestre em escala global tem provocado mudanças climáticas (Hansen *et al.* 2001, MEA 2005) e perda de habitats (Sala *et al.* 2000), as quais influenciam direta ou indiretamente o aumento das taxas de extinção (Pimm & Raven 2000, MEA 2005) e do número de espécies ameaçadas e extintas do planeta (Mace 1994, Butchart *et al.* 2010). As atividades humanas já seriam responsáveis pelo sexto maior evento de extinção na história da vida e por profundas alterações na distribuição dos organismos (Chapin III *et al.* 2000). A última avaliação da Convenção sobre a Diversidade Biológica sobre o status da biodiversidade aponta que, dentre as espécies avaliadas pela Lista Vermelha da IUCN até 2009, 36% foram categorizadas como ameaçadas de extinção (SCBD 2010). A cada ano, em média 52 espécies de mamíferos, aves e anfíbios movem-se para uma categoria mais próxima de extinto (Hoffmann *et al.* 2010). A perda atual de espécies é dramática e as taxas de extinção são mais elevadas do que esperado pela análise do registro fóssil (Barnosky *et al.* 2011), mesmo assumindo os cinco grandes eventos de extinção em massa ao longo dos períodos geológicos anteriores (Diamond 1989, Pimm *et al.* 1995).

Nesse sentido, a capacidade de resposta das espécies às alterações também pode variar. O registro fóssil indica que espécies com amplitudes geográficas relativamente pequenas frequentemente apresentam taxas de extinção mais altas, o que evidencia uma relação entre a amplitude geográfica das espécies e a suscetibilidade à extinção (Jablonki 1986). Atualmente a Modelagem de Distribuição de Espécies (MDE) e a Modelagem de Nicho Ecológico (MNE) tornaram-se procedimentos analíticos muito utilizados para auxiliar na delimitação da distribuição geográfica e na identificação dos fatores que influenciam a ocorrência das espécies (Franklin 2009). A realização da MDE e

da MNE demanda condições básicas: um conjunto de dados da ocorrência ou abundância das espécies e outro de variáveis ambientais explicativas, um algoritmo que relacione as características ambientais aos dados das espécies, bem como uma avaliação da acurácia do modelo (Guisan & Zimmermann 2000). Apesar de ambas as terminologias MDE e MNE terem sido utilizadas como sinônimos na literatura, alguns autores propõem que os dois termos representem concepções distintas (Peterson *et al.* 2011, Peterson & Sóberon 2012). A MNE tem como foco a distribuição potencial das espécies, identificando o nicho fundamental ou os locais potenciais onde a espécie poderia ser encontrada (Peterson & Soberón 2012). Já a MDE deve incluir procedimentos que transformem a distribuição potencial em algo mais próximo da distribuição real. Essa transformação pode ser feita através da restrição do modelo apenas a locais acessíveis para a espécie, da incorporação da capacidade de dispersão e/ou da utilização de ausências verdadeiras no modelo (Peterson & Soberón 2012). Contudo, como na literatura ainda não há um consenso sobre o uso das terminologias (Peterson & Soberón 2012, Giannini *et al.* 2012), utilizaremos o termo Modelagem Preditiva de Distribuição de Espécies (MPDE) (Giannini *et al.* 2012) para exemplificar os estudos com as duas abordagens teóricas.

Em relação à seleção do conjunto de variáveis ambientais explicativas, pode-se dizer que esse aspecto não tem recebido tanta atenção quanto outros envolvidos em MPDE, tais como a escolha dos dados de ocorrência e dos algoritmos de modelagem (Franklin 2009). A literatura ainda é bastante limitada em tratar os pressupostos da escolha das variáveis preditoras, as limitações relacionadas aos tipos de dados ambientais e as implicações relacionadas à escala. Dentre as variáveis ambientais utilizadas em MPDE geralmente encontram-se descritores de clima, mas também são empregados descritores de topografia, substrato, uso/cobertura do solo, tipos de vegetação e composição/configuração de paisagem (Franklin 2009). A consideração de variáveis indicadoras de antropização (*e.g.* uso do solo, distância de rodovias, densidade populacional, cobertura florestal) pode ser especialmente importante para entender os fatores que influenciam a distribuição atual das espécies ameaçadas de extinção (*e.g.* Kuemmerle *et al.* 2010). Além disso, por meio dos algoritmos utilizados na modelagem

preditiva é possível identificar a relevância das variáveis ambientais na distribuição modelada para as espécies (Phillips *et al.* 2006). No entanto, essa importância é determinada pela escala de análise (Thuiller *et al.* 2003, Lorini 2007). A escala refere-se às dimensões temporais e espaciais dos fenômenos (Wu & Li 2006) e pode ser caracterizada por seus componentes básicos de grão e extensão (Franklin 2009). O grão ou resolução, por sua vez, indica a unidade mínima de um conjunto de dados, a qual corresponde ao tamanho do pixel utilizado em termos espaciais da modelagem preditiva (Franklin 2009). Já a extensão espacial é o tamanho da área de estudo e na MPDE constitui a área sobre a qual o modelo é aplicado para fazer interpolação ou extrapolação a partir de um conjunto de dados (Franklin 2009). Como os fenômenos ecológicos ocorrem ao longo de um espectro de escalas, torna-se fundamental relacionar informações por meio de diferentes escalas e níveis de organização biológica (Wu 1999, Burnett & Blaschke 2003, Wu 2004). Nesse contexto, a abordagem multiescalar, que via de regra envolve a variação do tamanho dos componentes principais da escala (grão e/ou extensão) entre os distintos domínios escalares, é altamente recomendável para melhor compreender as limitações ambientais às distribuições de espécies (Lorini 2007, Pearson *et al.* 2002).

Os estudos que realizam análises multiescalares demonstram frequentemente que as variáveis climáticas são mais relacionadas com a distribuição das espécies em macroescalas, ou seja, com grandes extensões e resoluções grosseiras (Pearson *et al.* 2002, Lorini 2007, Lomba *et al.* 2010, Razgour *et al.* 2011). Já as variáveis não-climáticas são consideradas mais determinantes nas distribuições de espécies em análises com menores extensões e resoluções mais finas (Pearson *et al.* 2002, Lorini 2007, Lomba *et al.* 2010, Razgour *et al.* 2011). As escalas espaciais são normalmente categorizadas pela extensão de análise (Pearson & Dawson 2003) que podem ser: (i) *local* - extensão reduzida (< 10km) que engloba uma porção de habitat onde os indivíduos de uma população interagem diariamente; (ii) *de paisagem* - extensão intermediária (10 - 200km) que abarca uma ou mais (meta)populações que interagem frequentemente via dispersão; (iii) *regional* - extensão mais ampla (200 - 2000km) onde (meta)populações regionais interagem menos frequentemente via dispersão; (iv)

macrorregional - extensão de grande amplitude (2000 - 10000km) considerada como *macrorregional/global* se englobar toda a distribuição geográfica da espécie quando restrita apenas a um país ou bioma, e (v) *global* quando a distribuição geográfica abranger vários países ou continentes (> 10000km).

Tendo em vista que entender a distribuição atual e potencial dos organismos é fundamental para a conservação da biodiversidade (Richardson 2012), torna-se evidente que a MPDE constitui um importante instrumento para embasar estudos e aplicações voltados para espécies ameaçadas de extinção. Por conseguinte, seria esperado que estudos sobre modelagem preditiva aplicados a espécies ameaçadas de extinção fossem bem representados na produção acadêmica de MPDE, utilizassem variáveis indicadoras de antropização e fossem desenvolvidos em mais de uma escala. No entanto, há uma carência de estudos que compilem e analisem conjuntamente estas informações. Nesse sentido, o presente estudo teve como objetivo principal fornecer um diagnóstico da pesquisa envolvendo a modelagem preditiva de distribuição de espécies ameaçadas de extinção, buscando responder: (i) qual a representatividade da publicação sobre modelagem preditiva com espécies ameaçadas em relação à produção global sobre MPDE?; (ii) quais os temas abordados por esses trabalhos?; (iii) as variáveis indicadoras de antropização vêm sendo utilizadas nesses trabalhos?; (iv) diferentes escalas são analisadas nesses trabalhos?; (v) como a importância das variáveis ambientais varia de acordo com a escala?

RESULTADOS

Os trabalhos sobre modelagem preditiva de distribuição com espécies ameaçadas (n=101) representaram apenas 11% dos trabalhos sobre MPDE em todas as temáticas (n=917). No intervalo de tempo investigado (1945 a 2012), encontramos as primeiras publicações sobre MPDE na década de 1980, enquanto que apenas duas décadas depois detectamos o primeiro artigo com espécies ameaçadas (Peterson & Robins 2003). Este artigo foi publicado pouco antes do início da tendência de aumento da produção global de artigos sobre MPDE, que fica mais evidente a partir de 2005 (Figura 1). Já a grande maioria dos trabalhos de MPDE com foco em espécies ameaçadas (85,1%, n=86) foi publicada a partir de 2008.

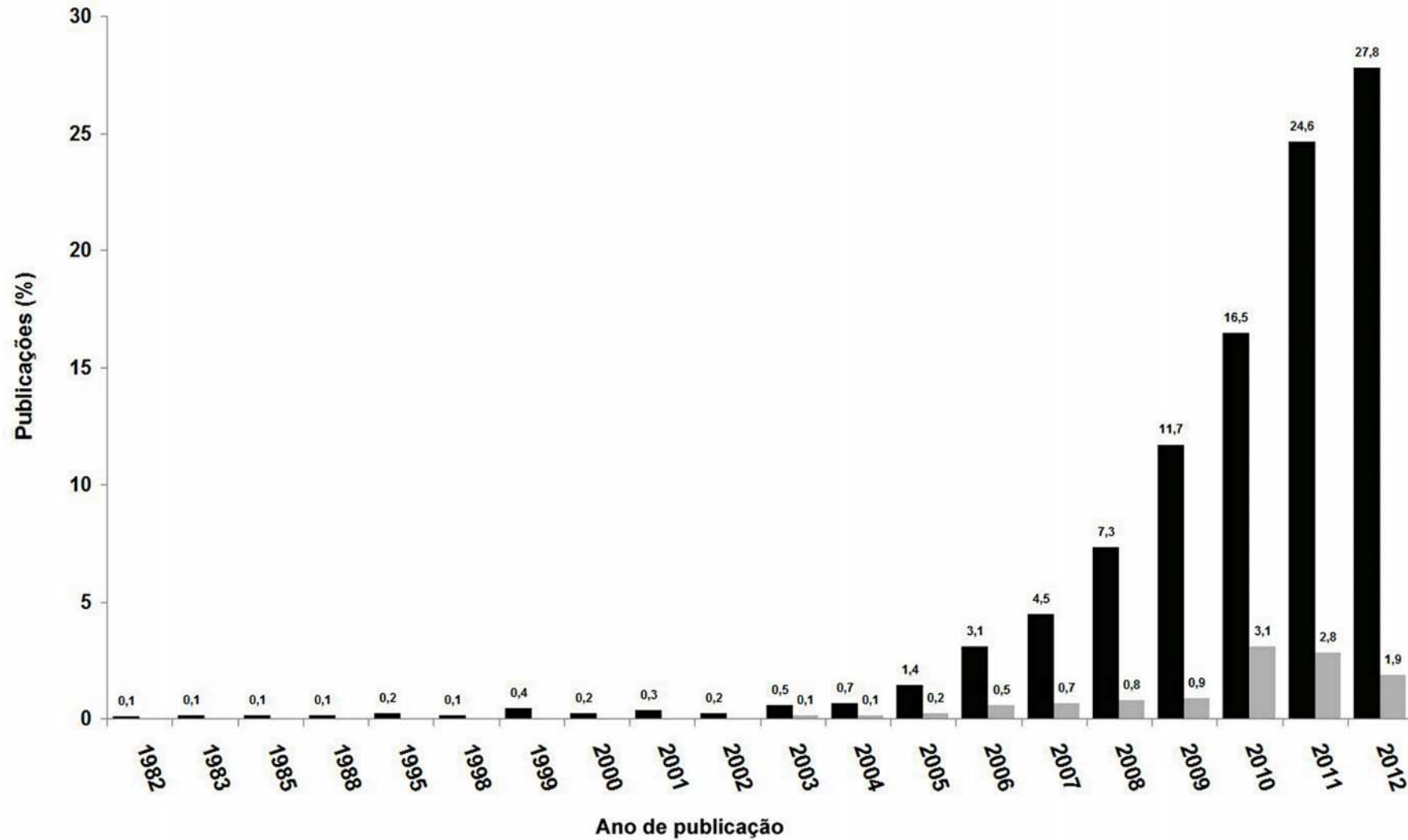


Figura 1. Comparação entre o número de publicações sobre modelagem preditiva de distribuição de espécies (barras pretas) e os trabalhos publicados sobre modelagem preditiva de distribuição de espécies ameaçadas (barras cinza) entre 1982 e 2012.

Figure 1. Comparison between the number of papers about species distribution predictive modeling (dark bar) and papers about distribution predictive modeling of endangered species (gray bar) between 1982 e 2012.

No conjunto dos 101 artigos analisados todas as escalas foram representadas de algum modo, com maior frequência para as escalas regional e macrorregional/global (n= 34 e 25, respectivamente; Figura 2). A abordagem multiescalar foi adotada somente em cerca de 10% dos estudos (n=10; Figura 2), enquanto as escalas local e global tiveram uma representação menor (n=3 e 1, respectivamente).

Em relação aos 13 temas abordados pelas 101

publicações sobre modelagem preditiva de espécies ameaçadas encontradas em nossa busca, as temáticas “Identificação de áreas prioritárias para conservação” (39,6%; n=40) e “Alteração da distribuição potencial futura por conta das mudanças climáticas” (25,7%, n=26) destacaram-se como as mais representadas. Em contrapartida o tema “Risco de espécies exóticas sobre a distribuição geográfica de espécies nativas” (1,98%; n=2) foi pouco frequente (Tabela 1).

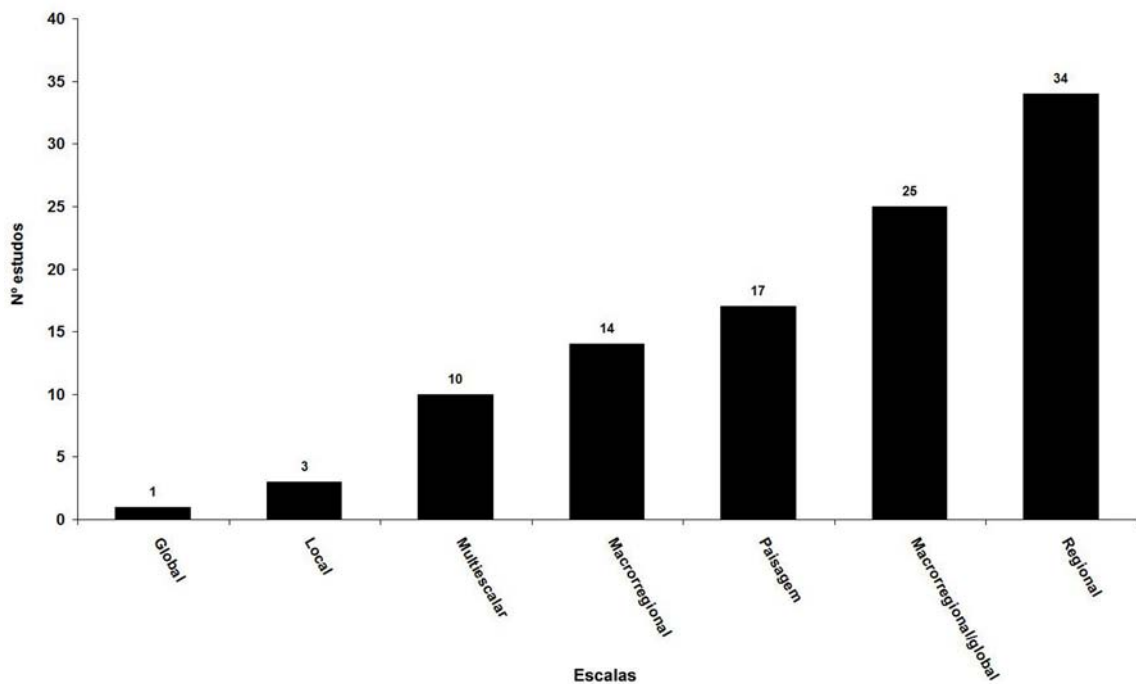


Figura 2 - Escalas espaciais (extensão geográfica) utilizadas nos estudos analisados (n=101).
Figure 2 - Spatial scales (geographic extent) used in the studies analyzed (n = 101).

Tabela 1. Temas de pesquisa relacionados às 101 publicações analisadas sobre modelagem preditiva de distribuição de espécies ameaçadas e número de estudos (n) que abordaram esses temas.

Table 1. Research themes related to the 101 papers on distribution predictive modeling of endangered species analyzed and numbers of studies (n) addressing these issues.

TEMAS DOS ESTUDOS	N
Identificação de áreas prioritárias para conservação	40
Alteração da distribuição potencial futura devido às mudanças climáticas	26
Identificação das variáveis ambientais mais importantes	13
Redução da área de distribuição geográfica das espécies	10
Comparação das análises preditivas em diferentes escalas	10
Comparação de métodos na indicação de áreas adequadas	8
Delimitação geográfica da distribuição das espécies	7
Identificação de áreas adequadas para reintrodução e/ou translocação de espécies	6
Identificação de áreas adequadas para encontrar novas populações	6
Modelagem de distribuição incluindo interações bióticas	6
Proposta de atualização do status de ameaça na IUCN	4
Modelagem de distribuição em períodos pretéritos	3
Risco de espécies exóticas sobre a distribuição geográfica de espécies nativas	2

A utilização de variáveis *indicadoras de antropização* foi registrada em pouco mais da metade dos estudos sobre modelagem preditiva com espécies ameaçadas (55,4%; n=56 artigos). Nessa totalização consideramos tanto a utilização dessas variáveis diretamente no processo de modelagem preditiva como o seu emprego apenas após o processo de geração do modelo, com vistas a excluir as áreas antrópicas (Tabela 2). Dentre os 56 artigos que utilizaram variáveis *indicadoras de antropização* a variável ‘uso

do solo’ foi a mais frequente (37,5%, n=21). Também em mais de um terço destes artigos (37,5%, n=21) as variáveis *indicadoras de antropização* foram empregadas apenas na fase pós-modelagem (Tabela 2). Nos estudos que utilizaram variáveis *indicadoras de antropização* dentro do processo de modelagem, os preditores indicados como importantes para o modelo foram ‘distância de áreas urbanas’, ‘uso do solo’, ‘pasto’, ‘fragmentação florestal’, ‘cobertura florestal’ e ‘área urbana’ (Tabela S2, Apêndice).

Tabela 2. Variáveis ambientais utilizadas nas publicações sobre modelagem preditiva de espécies ameaçadas (n=101) e número de estudos (n) que utilizaram essas variáveis.

Table 2. Environmental variables used in the papers on distribution predictive modeling of endangered species (n=101) and numbers of studies (n) that used these variables.

VARIÁVEIS AMBIENTAIS UTILIZADAS NOS ARTIGOS:	N
<i>Climáticas</i>	
Temperatura (°C)	79
Precipitação (mm)	77
Umidade (sem unidade)	4
PET (mm)	1
<i>Topográficas</i>	
Elevação (m)	58
Declividade (°)	47
Aspecto (sem unidade)	30
Índice topográfico de umidade (sem unidade)	18
Radiação solar (Kj dia-1/WHm ² /WM ²)	5
Índice de irregularidade do terreno (sem unidade)	3
Convexidade (> 0) e/ou Concavidade (< 0)	2
<i>Cobertura do solo naturais</i>	
Tipo de vegetação (categórica/%)	23
Tipo de solo (categórica/%)	21
Corpos d'água (distância (m)/categórica/%)	10
Superfície geológica (categórica/%)	7
Cobertura de herbáceas (%)	5
Brejos (categórica)	1
<i>Indicadoras de antropização</i>	
Uso do solo (categórica/%)	21
Retirada de áreas antrópicas após a modelagem	21
Cobertura Florestal (categórica/%)	11
Distância de cidades (m/km)	9
Índice de influência humana (sem unidade)	5
Agricultura (%/ha/km ²)	4
Distância de estradas (km ou m)	4
Fragmentação florestal (frequência ou sem unidade)	4

Continua...

VARIÁVEIS AMBIENTAIS UTILIZADAS NOS ARTIGOS:	N
Densidade populacional (pessoa/km ²)	3
Distância de áreas protegidas (m/km)	2
Distância de áreas florestadas (m)	2
Densidade de estradas (km/km ² ou m/m ²)	2
Luzes noturnas (sem unidade)	2
Área Urbana (ha)	1
Área industrial (%)	1
Pasto (km ²)	1
Tamanho de fragmentos (sem unidade)	1
Distância de agricultura (m/km)	1
Distância da área núcleo (km)	1
Distância de atividade madeireira (m/km)	1
Distância de mineradoras (km)	1
Distúrbio ambiental (categórico)	1
Distância de área industrial (km)	1
Macrófitas (categórica)	1
Mata ciliar (categórica)	1
Aquáticas	
Profundidade (m)	1
Oxigênio Dissolvido (mg l ⁻¹)	1
Clorofila a (CHL, mg m ⁻³)	1
Temperatura da superfície do mar (°C)	1
pH	1
Nitrato (mg l ⁻¹)	1
Área de solo ácido (km ²)	1
Área de solo calcário (km ²)	1
Área de sedimentos calcários (km ²)	1
Outras	
Competidor (categórica)	4
Presa (categórica)	1
Complexidade do habitat (categórica)	1
Distância de pradarias (m)	1
Distância de outro indivíduo da mesma espécie (m)	1
Tipo de substrato (categórica)	1
Ecorregiões (categórica)	1

Em relação às demais variáveis ambientais utilizadas nas publicações analisadas (n=101), as mais frequentes foram ‘precipitação’ (78,2%; n=79) e ‘temperatura’ (76,2%; n=77) na categoria de variáveis *climáticas*, ‘elevação’ (57,4%; n=58) e ‘declividade’ (46,5%, n=47) dentre as variáveis *topográficas* e ‘tipos de vegetação’ (22,7%, n=23) e ‘solo’ (20,8%, n=21) na categoria *cobertura do solo natural*. Entre os grupos de variáveis menos utilizadas encontram-se

aqueles classificados como *aquáticas* (0,99%; n=1) e *outras*, sendo que nesse último as mais frequentes foram as variáveis categóricas ‘competidor’ (2,97%; n=3) e ‘presas’ (2,97%; n=3) (Tabela 2).

Menos da metade (44,5%; n=45) dos artigos analisados (n=101) explicitaram a variável mais importante para o modelo (Tabela 3). Das 45 publicações que forneceram essa informação, 42,2% (n=19) utilizaram concomitantemente variáveis

climáticas e não-climáticas na análise (Tabela 4 e Tabela S2, Apêndice). Do total de estudos nas escalas macrorregional/global e regional que utilizaram variáveis climáticas e não-climáticas (n=17), preditores climáticos foram apontados como os mais importantes para o modelo em mais de 70,6% dos casos (n=12) e preditores não-climáticos foram indicados em menos de 29,4% dos casos (n=5) (Tabela 4). Na escala de paisagem e local foram utilizadas majoritariamente variáveis não-climáticas, que foram preditas como as mais importantes em todos os casos (Tabela 3, Tabela

4 e Tabela S2, Apêndice). Dos artigos que aplicaram uma abordagem multiescalar e forneceram a informação em relação à importância da variável (n=7), em mais da metade (n=4) a variável mais importante variou em relação à escala (Tabela S2, Apêndice). Em todos os trabalhos em que as essas variações foram verificadas a mudança de escala englobou mudança concomitante da resolução e extensão geográfica da análise, enquanto os estudos onde a mudança da escala envolveu apenas mudança da resolução não registraram tal variação (Tabela S2, Apêndice).

Tabela 3. Número de estudos (n) que explicitaram a variável mais importante para o modelo (n=45), divididos entre artigos que utilizaram apenas variáveis climáticas, os que utilizaram apenas variáveis não-climáticas e aqueles que utilizaram concomitantemente variáveis climáticas e não-climáticas em diferentes escalas espaciais: Macrorregional/global (MG), Macrorregional (M), Regional (R), Paisagem (P), Local (L) e Multiescalas (Multi).

Table 3. Number of studies (n) that make explicit the most important variable of the model (n = 45), divided between papers using only climatic or only non-climatic variables or using climatic and non-climatic variables at different spatial scales: Macro-regional/global (MG), Macro-regional (M), Regional (R), Landscape (L) Local (L2) and Multiscale (Multi).

	MG (n)	M (n)	R (n)	P (n)	L (n)	MULTI (n)
Apenas variáveis climáticas	3	1	3	1	0	0
Apenas variáveis não-climáticas	1	0	3	9	2	3
Variáveis climáticas e não-climáticas	7	0	7	1	0	4

Tabela 4. Número de estudos (n) que utilizaram concomitantemente variáveis climáticas e não-climáticas (n=19) divididos entre as escalas espaciais: Macrorregional/global (MG), Regional (R), Paisagem (P) e Multiescalas (Multi).

Table 4. Number of studies (n) that used climate and non-climate variables (n = 19) divided between spatial scales: Macro-regional/global (MG), Regional (R), Landscape (P) and Multiscale (Multi).

	MG (n)	R (n)	P (n)	MULTI (n)
Climáticas	4	5	0	2
Não-climáticas	3	2	1	2

DISCUSSÃO

TENDÊNCIAS NO NÚMERO DE PUBLICAÇÕES SOBRE MODELAGEM PREDITIVA DE DISTRIBUIÇÃO DE ESPÉCIES AMEAÇADAS

No período pré-2000, o aumento do número de trabalhos sobre MPDE observados a partir da década de 1990 confirmou os resultados das duas revisões clássicas sobre modelagem preditiva de distribuição de espécies (Guisan & Zimmermann 2000, Guisan & Thuiller 2005). Esse primeiro aumento na produção teve grande apoio de desenvolvimentos que aconteceram nas ciências computacionais e estatísticas, bem como de forte suporte teórico para a ecologia preditiva (Guisan & Thuiller 2005). Já no período pós-

2000, um crescimento exponencial da publicação global sobre MPDE em todas as temáticas ficou evidenciado, sobretudo a partir de 2005. A produção de artigos sobre modelagem preditiva de distribuição com espécies ameaçadas, iniciada em 2003, também acompanhou a tendência de aumento da publicação global sobre MPDE, embora somente a partir de 2008. Esse resultado pode ser reflexo do aumento na disponibilidade de algoritmos baseados apenas em dados de presença em plataformas com interface acessível, tais como *ENFA* (*Ecological Niche Factor Analysis*, Hirzel *et al.* 2002) e *MAXENT* (*Maximum Entropy*, Phillips *et al.* 2006), uma vez que para espécies ameaçadas os dados de ausência ou mesmo de presença são mais escassos. Por outro lado, o crescimento

substancial da disponibilidade de variáveis ambientais em resoluções mais finas nos últimos dez anos também pode ter contribuído de forma importante para o aumento mais recente dessas aplicações.

TEMAS DAS PUBLICAÇÕES SOBRE MODELAGEM PREDITIVA DE DISTRIBUIÇÃO COM ESPÉCIES AMEAÇADAS

A importante parcela de publicações que indicaram áreas mapeadas com maiores valores de adequabilidade ambiental como áreas prioritárias para a conservação das espécies, representando cerca de 40% dos estudos analisados nessa compilação (n=40), sugere a grande potencialidade do uso de MPDE na priorização espacial para conservação, conforme já identificado por Guisan & Thuiller (2005). Uma das metas da biologia da conservação é justamente entender questões fundamentais sobre como, o que, quando e onde conservar (Peterson *et al.* 2011). Nesse contexto, a MPDE se destaca como ferramenta promissora para espécies ameaçadas, podendo contribuir para embasar estratégias de conservação especialmente pela possibilidade de trabalhar com poucos dados de ocorrência. Nesse grupo de aplicações encontram-se os trabalhos que identificaram locais com sobreposição de áreas adequadas para diferentes espécies, avaliando locais prioritários em termos de riqueza e/ou endemismo para grupos taxonômicos inteiros e sua representatividade em redes de unidades de conservação (*e.g.* Peralvo *et al.* 2007, Murray-Smith *et al.* 2009, Embert *et al.* 2011, Nóbrega & De Marco 2011). Além disso, figuram também os estudos que investigam o quanto de área adequada para determinada espécie encontra-se dentro de áreas protegidas (*e.g.* Gaubert *et al.* 2006, Thuiller *et al.* 2006, Irfan-Ullah *et al.* 2007, Thomaes *et al.* 2008, Marini *et al.* 2009a, Marini *et al.* 2010b, Rödder *et al.* 2010, Rödder & Schulte 2010, Urbina-Cardona & Flores-Vilella 2010, Dias *et al.* 2011, Kuemmerle *et al.* 2011). Embora distintos de uma análise de lacunas tradicional, que é baseada em dados de ocorrência comprovada da espécie, esse tipo de trabalho baseado em MPDE pode avaliar a representatividade da ocorrência de áreas adequadas para espécies ameaçadas de extinção em redes de áreas protegidas, alertando para potenciais lacunas de proteção. Como exemplo, as três espécies de mamíferos carnívoros do gênero *Genetta* (*G. cristata*, *G. victoriae* e *G. servalina*)

que possuem apenas 4-6% da distribuição em áreas protegidas (Gaubert *et al.* 2006). Ainda nessa linha de aplicações, os estudos que combinam MPDE com ferramentas de planejamento sistemático tornam-se particularmente úteis para seleção de reservas e desenho de redes de áreas protegidas (Wilson *et al.* 2005, Peralvo *et al.* 2007, Carvalho *et al.* 2010), permitindo indicar novas áreas protegidas que se apresentem tão (Qi *et al.* 2009, Thorn *et al.* 2009, Urbina-Cardona & Flores-Villela, 2009) ou até mais adequadas (Marini *et al.* 2009a, Wilting *et al.* 2010, Röder *et al.* 2010) do que as reservas vigentes.

Outra abordagem importante para espécies ameaçadas de extinção são as análises que incluem projeções em cenários futuros das mudanças climáticas, as quais podem causar significativas alterações na distribuição das espécies (IPCC 2007). De fato, esse tipo de aplicação foi a segunda mais frequente dentre as publicações analisadas, correspondendo a aproximadamente 26% dos trabalhos (n=26). A MPDE pode auxiliar nas previsões de perda parcial ou total de áreas adequadas (*e.g.* Gibson *et al.* 2010, Morueta-Holme *et al.* 2010, Ihlow *et al.* 2012, Ballesteros-Barrera *et al.* 2007), na previsão de ganho de áreas adequadas (*e.g.* Thuiller *et al.* 2006, Fouquet *et al.* 2010), nos reflexos dessas mudanças sobre o status de conservação das espécies (*e.g.* Souza *et al.* 2011) e na indicação de áreas adequadas para conservação em longo prazo (*e.g.* Marini *et al.* 2009a, Gibson *et al.* 2010, Cianfrani *et al.* 2011). No entanto, é importante destacar que determinado incremento de área climaticamente adequada não necessariamente irá beneficiar as espécies, pois alterações antrópicas na cobertura do solo podem impossibilitar a chegada de organismos nas novas áreas adequadas. Essas dinâmicas evidenciam a importância da inclusão de variáveis relacionadas a duas grandes mudanças globais (climática e de uso do solo) nos modelos de distribuição futura das espécies, especialmente daquelas ameaçadas de extinção. Os estudos que incluem variáveis indicadoras de antropização nas análises de modelagem preditiva assumem as alterações humanas no espaço em relação à situação presente (*e.g.* Loisselle *et al.* 2010, Hu *et al.* 2010, Cianfrani *et al.* 2011). Essa metodologia também apresenta limitações advindas das constantes modificações na cobertura do solo que devem prosseguir nas próximas décadas. Apesar disso, tais estudos permitem uma melhor avaliação da condição de risco das espécies.

Nos demais temas abordados pelos estudos de MPDE de espécies ameaçadas figuram estratégias adicionais de conservação, tais como os trabalhos relacionados à reintrodução e/ou translocação das espécies ameaçadas (e.g. Martínez-Meyer *et al.* 2006, Cianfrani *et al.* 2010, Hu & Jiang 2010, Kuemmerle *et al.* 2010, Morueta-Holme *et al.* 2010) ou o mapeamento de locais adequados onde podem ser encontradas novas populações (e.g. Crawford & Hoagland, 2010, Hu & Jiang, 2010, Marini *et al.* 2010a). Essas estratégias podem ser mais eficientes se fatores que podem influenciar a distribuição das espécies forem levados em consideração. A título de exemplo, Martínez-Meyer *et al.* (2006) realizaram uma combinação de procedimentos para indicar as áreas adequadas para reintrodução da ave (*Gymnogyps californianus*) no sul da Califórnia. Tais procedimentos incluíram a modelagem preditiva da distribuição potencial da espécie; o corte do modelo para retirada das áreas sem vegetação natural; a seleção das áreas que estão distantes 10km de cidades e rodovias e que serão potencialmente adequadas em cenários futuros de mudanças climáticas.

Apesar de artigos abrangendo a temática de modelagem preditiva com espécies exóticas serem bem representados na literatura global de modelagem de distribuição potencial (Honing *et al.* 1992, Sóberon *et al.* 2001, Soberón & Sarukhán 2001, Peterson & Robins 2003, Núari *et al.* 2006, Strubbe *et al.* 2010, Peterson *et al.* 2011), o tema 'Risco das espécies exóticas sobre a distribuição geográfica de espécies nativas' foi abordado em apenas dois dos 101 estudos aqui analisados. Esse resultado indica uma carência na produção sobre modelagem preditiva com espécies ameaçadas envolvendo essa abordagem. Além disso, alguns temas de interesse para conservação de espécies ameaçadas também não foram encontrados entre os estudos analisados. Dentre essas lacunas incluem-se análise do impacto de elevações do nível do mar derivadas de mudanças climáticas (Peterson *et al.* 2010), identificação de locais adequados para restauração de habitat (Mladenoff *et al.* 1998), bem como avaliação da estruturação espacial e genética de populações (Neel 2008).

VARIÁVEIS AMBIENTAIS UTILIZADAS NAS PUBLICAÇÕES SOBRE MODELAGEM PREDITIVA DE DISTRIBUIÇÃO DE ESPÉCIES AMEAÇADAS

Mais da metade dos estudos analisados sobre

modelagem preditiva com espécies ameaçadas de extinção incluiu variáveis 'indicadoras de antropização'. Embora expressivo, é surpreendente que essa proporção não seja maior, visto que para esse grupo de espécies a discriminação das áreas antropizadas é de fundamental importância. Nesse sentido, a busca dos fatores que influenciam os limites das distribuições geográficas pode ser considerada mais importante do que o próprio limite da distribuição das espécies, pois o entendimento de tais fatores permite a construção de modelos preditivos, possibilitando que se teste empiricamente a sua relevância para determinar as distribuições (Grelle & Cerqueira 2006). A seleção das variáveis candidatas deveria ser espécie-específica e baseada em conhecimento prévio sobre suas características (Barrows *et al.* 2005).

Além da demanda de conhecimento, o uso de variáveis 'indicadoras de antropização' reflete o avanço tecnológico na geração de dados por sensoriamento remoto, tais como os obtidos por sensores de resolução moderada como o *Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)* e o *Medium Resolution Imaging Spectrometer (MERIS)*. Dentro desse cenário, diversos dados que refletem as influências antrópicas também estão disponíveis, em produtos únicos ou combinados. Um exemplo de tais dados é o *Human Influence Index (HII)*, produzido pela sobreposição de várias camadas de dados globais, representando a localização de determinados fatores que podem afetar os ecossistemas: densidade da população humana, áreas urbanas, vias de transporte, infraestrutura elétrica e áreas agrícolas (Sanderson *et al.* 2002, Woolmer *et al.* 2008). Apesar dos dados que representam atividades humanas estarem disponíveis em escala global, muitos estudos analisados não utilizaram esse tipo de variável. Mesmo artigos que indicaram áreas prioritárias para conservação não consideraram as variáveis 'indicadoras de antropização' (e.g. Irfan-Ullah *et al.* 2007, Early *et al.* 2008, Contreras *et al.* 2009, Murray-Smith *et al.* 2009, Gibson *et al.* 2010, Nabout *et al.* 2010, Embert *et al.* 2011, Nóbrega & De Marco 2011, Louzao *et al.* 2012, Queiroz *et al.* 2012). Esta é uma importante lacuna a ser preenchida, pois as ações conservacionistas poderiam ser mais eficientes considerando os fatores antrópicos que causam grande impacto sobre a disponibilidade espacial de habitat e subsequentemente sobre a distribuição das espécies ameaçadas de extinção (Davies *et al.* 2006).

Nos estudos analisados, as variáveis ‘*indicadoras de antropização*’ selecionadas como preditoras mais importantes para o modelo representaram fatores que influenciam negativamente a distribuição das espécies ameaçadas (e.g. Gray *et al.* 2009, Qi *et al.* 2009, Kuemmerle *et al.* 2010, Convertino *et al.* 2011, Qi *et al.* 2011, Blank & Blaustein 2012). No entanto, um dos artigos analisados (Thomaes *et al.* 2008) indicou que a variável ‘área urbana’ poderia influenciar positivamente a ocorrência do besouro *Lucanus cervus*. A possível explicação para essa relação positiva decorre da característica termófila do besouro, que acabou por se beneficiar do microclima da cidade, mesmo que as florestas decíduas mistas fossem mais adequadas para proteger a espécie em escala mais ampla (Thomaes *et al.* 2008). Esse exemplo evidencia a importância do conhecimento da ecologia das espécies para a seleção de variáveis a serem incluídas na análise de modelagem preditiva. No que se refere às variáveis climáticas, aquelas derivadas de temperatura e precipitação foram as mais frequentes nas publicações aqui analisadas. Esse resultado reflete tanto a importância dessas variáveis nos limites fisiológicos de tolerância das espécies (Woodwards & Willians 1987, Franklin 2009), quanto na disponibilidade global desse tipo de dado (Hijmans *et al.* 2005, Daly *et al.* 2008). Similarmente, as variáveis topográficas mais utilizadas foram elevação e declividade, indicando a importância da conformação do terreno em modificar o balanço local de calor e umidade, bem como a disponibilidade global de tais variáveis, especialmente por meio de Modelos Digitais de Elevação como os derivados da *Shuttle Radar Topography Mission – SRTM* e do *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer – ASTER*.

Já as variáveis de cobertura do solo naturais mais utilizadas foram relacionadas ao tipo de solo e de vegetação, as quais possuem uma clara relação ecológica entre si (Coudun & Gégout 2007, Franklin 2009) e determinam outros níveis tróficos da comunidade (Leyequien *et al.* 2007). Ainda dentre as variáveis terrestres, os preditores da categoria “*outros*” incluem tanto variáveis categóricas, tais como competidor, presa, complexidade do habitat e tipo de substrato, quanto variáveis quantitativas, tais como distância de pradarias, distância de outro indivíduo da mesma espécie. Essas variáveis refletem a inclusão de interações bióticas no modelo e características peculiares dos ecossistemas, as quais são relacionadas à autoecologia das espécies.

As variáveis referentes às interações bióticas foram utilizadas em estudos na escala local (Tanneberger *et al.* 2010, Baumberger *et al.* 2012), na escala da paisagem (Cianfrani *et al.* 2010, Titeux *et al.* 2007) e na escala regional (Jenks *et al.* 2012). A consideração dessas variáveis como integrantes do processo de modelagem é mais comum em escalas de menor extensão (e.g. Baumberger *et al.* 2012, Tanneberger *et al.* 2010, Cianfrani *et al.* 2010), onde é possível coletar informações mais detalhadas sobre as espécies envolvidas na interação interespecífica em toda a área de estudo considerada. De forma alternativa, em escala regional Jenks *et al.* (2012) utilizaram como variáveis o resultado da modelagem preditiva de presas e competidores do carnívoro *Cuon alpinu*, sendo que o resultado indicou que as presas explicaram expressivos 44% da ocorrência do carnívoro. Outra possibilidade foi a utilização de uma variável indireta ou com significado funcional, exemplificada pelo estudo de Titeux *et al.* (2007), que com base em estudos anteriores assumiram que a presença de presas (Coleoptera, Hymenoptera e Orthoptera) para uma ave (*Lanius collurio*) poderia ser atribuída indiretamente a variáveis de antropização como agricultura e pasto.

Por fim, cabe notar que um único artigo utilizou variáveis descritoras de ambientes aquáticos entre 101 estudos analisados, o que reflete o fato de que estudos de modelagem preditiva de espécies são muito mais comuns em ambientes terrestres (Dambach & Rödder 2011). Dentre as variáveis aquáticas encontradas, estão indicadores de tolerância fisiológica e de recursos, incluindo profundidade, temperatura da superfície do mar, pH, clorofila-*a*, oxigênio dissolvido e nutrientes. Variáveis relacionadas aos níveis de nutrientes e de oxigênio dissolvido são fortemente vinculadas à significativa redução da biodiversidade aquática pelo processo de eutrofização (Justic *et al.* 2003, Vaquer-Sunyer & Duarte 2008, Diaz *et al.* 2008). Portanto, diferentes fatores foram cruciais à construção dos modelos de distribuição preditiva descritos nas publicações analisadas, destacando-se a disponibilidade de dados, os fatores biogeográficos e ecológicos, os distúrbios ambientais e as características das espécies.

ESCALAS ESPACIAIS UTILIZADAS NAS PUBLICAÇÕES SOBRE MODELAGEM PREDITIVA DE DISTRIBUIÇÃO DE ESPÉCIES AMEAÇADAS

As maiores frequências das escalas regional e

macrorregional/global (34% e 26% do total, respectivamente) sugerem que o entendimento da distribuição geográfica total da espécie é especialmente importante para aquelas ameaçadas, já que saber os locais onde a espécie se encontra é o primeiro passo antes de adotar qualquer estratégia de conservação. No tema 'Identificação de áreas adequadas para encontrar novas populações', por exemplo, todos os trabalhos foram aplicados nas escalas macrorregional/global e regional (e.g. Jiménez-Valverde *et al.* 2008, García-Rodrigues *et al.* 2012, Marini *et al.* 2010a). Dentre os dezessete estudos na escala de paisagem, apenas seis tinham relação com temas relacionados a estratégias de conservação como 'Identificação de áreas adequadas para reintrodução de espécies' (Cianfrani *et al.* 2010) e 'Identificação de áreas prioritárias para conservação' (Huerta *et al.* 2007, Titeux *et al.* 2007, Early *et al.* 2008, Contreras *et al.* 2009, Queiroz *et al.* 2012). Esse resultado não era esperado, visto que a escala de paisagem é reconhecida como a mais apropriada para efetivar estratégias de manejo visando garantir o fluxo entre as populações e metapopulações (Fuhlendorf *et al.* 2002, McAlpine *et al.* 2006, Cabeza *et al.* 2010). Apesar das variáveis ambientais, das respostas das espécies e dos objetivos de conservação apresentarem dependência em relação à escala, apenas cerca de 10% dos estudos (n=10) abordaram mais de uma escala (e.g. Lomba *et al.* 2010, Razgour *et al.* 2011, Vicente *et al.* 2011, Wilson *et al.* 2011). Os estudos com análises em escala local incluíram variáveis relacionadas indiretamente com o comportamento da espécie estudada, tais como em Murray *et al.* (2008), que identificaram a variável 'complexidade do habitat' como a mais importante nessa escala. A complexidade do habitat refere-se à presença de falésias, fendas e cavernas, responsáveis por oferecer refúgios contra predadores do canguru *Petrogale penicillata* (Murray *et al.* 2008), de modo que a conservação desses refúgios seria uma estratégia interessante para a proteção da espécie.

Dentre os estudos analisados onde o conjunto de variáveis incluía variáveis climáticas e não-climáticas, na maioria dos casos as variáveis climáticas destacaram-se como as mais importantes nas escalas macrorregional e regional (e.g. Morueta-Holme *et al.* 2010, Rödder & Schulte 2010, Cianfrani *et al.* 2011, Millar & Blouin-Demers 2012, Williams-Tripp *et al.* 2012). Contudo, cabe ressaltar que em quase 30% desses estudos em escalas macrorregional e/ou regional

variáveis não-climáticas foram apontadas como as mais importantes (e.g. Hu *et al.* 2010, Hu & Jiang 2010, Liang & Stohlgren 2011, Marini *et al.* 2010a, Wilting *et al.* 2010). Dessa forma, nossos dados corroboram apenas em parte a premissa de que variáveis climáticas são mais importantes em macro-escalas e variáveis não-climáticas têm destaque em escalas de menor extensão (Pearson *et al.* 2002, Pearson & Dawson, 2003, Lorini 2007). Apesar da possibilidade de variáveis categóricas apresentarem uma resposta diferenciada e talvez privilegiada na análise (Phillips *et al.* 2006), isso parece não estar acontecendo nos artigos que analisamos, pois mesmo nos modelos que incluíam variáveis categóricas e contínuas no conjunto de dados em muitos casos as variáveis contínuas foram as mais importantes no modelo (e.g. Gray *et al.* 2009, Crawford & Hoagland 2010, Rödder & Schulte 2010, Liang & Stohlgren 2011, Razgour *et al.* 2011). Logo, a porção dos nossos resultados que se encontra em discordo com o padrão estabelecido na literatura aparentemente não tem relação com o caráter das variáveis. Nesse contexto, consideramos a hipótese de que esse resultado deva-se ao aumento da disponibilidade de dados em resoluções cada vez mais finas nos últimos anos. De fato, as resoluções que há dez anos eram consideradas finas são atualmente entendidas como grosseiras. A título de exemplo, no clássico trabalho de Pearson *et al.* (2002) a distinção entre resoluções grosseiras (e.g. 50x50km) e finas (e.g. 5x5km) era baseada nos dados disponíveis até o final dos anos 90. Em contrapartida, a maioria dos estudos em macro-escalas aqui avaliados utilizaram resoluções menores ou iguais a 1kmx1km. Atualmente, dados de cobertura do solo em escala global encontram-se disponíveis em resoluções cada vez mais finas, abaixo de 1km². Este fato é decorrente da disponibilidade de dados através do o *Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)* com resoluções de 250-1000m e o *Medium Resolution Imaging Spectrometer (MERIS)* com resolução de 300m, lançados respectivamente em 1999 e 2002. Os dados climáticos também estão disponíveis em escala mundial em resoluções de até 1x1km (Hijmans *et al.* 2005), bem como dados topográficos em resoluções de até 30x30m (SRTM em 2000, ASTER em 2009). Assim, como os estudos da nossa análise concentram-se entre os anos de 2008 e 2011, as relações entre escalas finas e grosseiras e a importância preditiva de variáveis não-climáticas e climáticas podem refletir a resolução

utilizada na análise. Além disso, os métodos de seleção de variáveis utilizados nos estudos podem influenciar a resposta no modelo. Logo, novos trabalhos que analisem essa relação considerando o método de seleção de variáveis podem oferecer contribuição adicional para essa discussão.

No caso dos estudos que utilizaram mais de uma escala e não apresentaram variação na importância das variáveis, supomos que a razão desse resultado pode estar no tipo de análise escolhida em cada estudo. No estudo realizado com a gazela *Procapra przewalskii* (Hu & Jiang 2010), por exemplo, a mudança de escala foi realizada apenas através da mudança da resolução, onde a variável ‘elevação’ foi a mais importante em todas as modelagens realizadas em resoluções entre 1x1km e 32x32km. Já os artigos que realizaram mudança da resolução e da extensão apresentaram variação na resposta através da mudança de escala. Esse foi o caso do estudo com o morcego *Plecotus austriacus* (Razgour *et al.* 2011), onde a variável ‘distância de pradaria’ destacou-se na escala da paisagem com resolução de 100x100m e a variável ‘temperatura’ destacou-se na escala regional com resolução de 1x1km. Dessa forma, nossos resultados apontam que o método de mudança de escala através da alteração concomitante da extensão e resolução parece ser o mais apropriado para identificar variações das respostas das variáveis em diferentes escalas. Essa abordagem pode ser especialmente importante para espécies ameaçadas de extinção, visto que o conhecimento sobre os diferentes aspectos que determinam a distribuição das espécies pode auxiliar em diferentes ações de conservação e manejo e no planejamento de estratégias para conservação em longo prazo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos sobre modelagem preditiva de distribuição de espécies ameaçadas ainda representam uma fração pequena de cerca de 10% de todos os artigos publicados sobre MPDE. Contudo, esse número tem aumentado nos últimos anos, sobretudo após 2008, acompanhando o crescimento exponencial da produção global sobre MPDE em geral que se intensificou a partir de 2005. O tema mais abordado em estudos sobre modelagem preditiva com espécies ameaçadas está relacionado à indicação de áreas prioritárias para conservação, o que reflete a contribuição desse tipo de análise para estratégias de conservação e manejo.

Em contrapartida, identificamos poucos trabalhos que realizaram modelagem preditiva de espécies exóticas e avaliaram sua relação com a distribuição de espécies nativas, de modo que a exploração dessa temática pode ser interessante em novos trabalhos com espécies ameaçadas.

Todas as escalas de análise foram utilizadas nos estudos avaliados, com maiores frequências para as escalas macrorregional/global e regional. Já a abordagem multiescalar foi encontrada em apenas 10% dos artigos. Em nossas análises nós não encontramos uma relação clara entre variáveis climáticas e macro-escalas e variáveis não-climáticas e escalas menores. Já que em diferentes estudos tanto variáveis climáticas como não-climáticas se destacaram em macro-escalas. Esse cenário pode ser reflexo da disponibilidade de dados em resoluções mais finas. Assim, resoluções que antes eram consideradas como finas na literatura, atualmente são consideradas como grosseiras. No entanto, cumpre ressaltar que novos trabalhos que relacionem esses dados com a metodologia de seleção de variáveis são fundamentais para a discussão desse tema.

Apesar do uso de variáveis indicadoras de antropização terem sido registrados em mais da metade dos estudos, ainda há muitos trabalhos que não consideram esse tipo de variável, mesmo quando o tema está relacionado à indicação de áreas prioritárias para conservação. Assim, recomenda-se uma reavaliação na escolha de variáveis ambientais utilizadas na modelagem preditiva, pois estas devem estar de acordo com as características das espécies, da área de estudo e com os objetivos do trabalho.

Por fim, embora a publicação de artigos sobre modelagem preditiva de distribuição de espécies ameaçadas de extinção seja relativamente recente em relação à produção global sobre MPDE, sem dúvida essa ferramenta parece ser bastante promissora e poderá constituir importante instrumento para apoiar a conservação de espécies ameaçadas, sobretudo se os estudos forem realizados em múltiplas escalas, permitindo a identificação dos diferentes fatores que atuam na ocorrência das espécies, bem como se incluam variáveis indicadoras de antropização que traduzam as principais ameaças para essas espécies.

MATERIAL E MÉTODOS

Para responder às questões propostas nesse estudo, o primeiro passo foi a busca das publicações

que tenham realizado modelagem preditiva de distribuição de espécies. Foram consultadas duas bases de dados para garantir uma maior cobertura das publicações: *Web of Science (WoS) do Thompson Institute for Scientific Information - ISI* (<http://apps.isiknowledge.com>) e *SciVerse/Scopus* do grupo Elsevier (<http://www.scopus.com/home.url>). A base *WoS* tem a vantagem de fornecer dados sobre publicações na maior extensão temporal disponível, sendo a base mais detalhada e acurada de dados científicos de artigos peer-reviewed publicados em inglês, além de ser a mais utilizada para análises cienciométricas e levantamentos de dados (e.g. Verbeek *et al.* 2002, Wilson *et al.* 2007, Pysek *et al.* 2008, Falagas *et al.* 2008, Gavel & Iselid 2008, Hengl *et al.* 2009). Já a base *Scopus* indexa um número maior de periódicos (Falagas *et al.* 2008, Gavel & Iselid 2008), com maior presença de artigos publicados em idiomas que não o inglês. Em ambas as bases, buscamos artigos ou revisões que contivessem os termos de busca no título, *abstract* ou palavras-chave (acesso em agosto de 2012). Para recuperar publicações sobre a temática de modelagem preditiva de distribuição de espécies em geral utilizamos a seguinte sintaxe: [“*species distribution model**” OU “*ecologic*niche model**” OU “*environmental niche model**”]. Aplicamos o mesmo procedimento para recuperar artigos ou revisões sobre MDPE apenas com espécies consideradas ameaçadas de extinção, de acordo com critérios explícitos nos artigos. Para isso, utilizamos a seguinte sintaxe: [“*species distribution model**” OU “*ecologic*niche model**” OU “*environmental niche model**” E “*endangered species*”], [“*species distribution model**” OU “*ecologic*niche model**” OU “*environmental niche model**” E “*threatened species*”], [“*species distribution model**” OU “*ecologic*niche model**” OU “*environmental niche model**” E “*vulnerable species*”] e [“*species distribution model**” OU “*ecologic*niche model**” OU “*environmental niche model**” E “*rare species*”].

No período coberto pelo levantamento, entre 1945 e agosto de 2012, recuperamos 1.704 artigos publicados com os termos de busca [“*species distribution model**” OU “*ecologic*niche model**” OU “*environmental niche model**”], sendo que esse número foi reduzido para um total de 917 após a eliminação das repetições entre as bases de busca *Scopus* e *WoS*. Os estudos sobre modelagem preditiva de distribuição de espécies ameaçadas de extinção

totalizaram 101 artigos (Tabela S1, Apêndice).

A metodologia de análise seguiu cinco etapas, iniciando pela avaliação das tendências e da proporção da produção científica sobre modelagem preditiva de espécies ameaçadas em comparação com os demais trabalhos com MPDE. Na segunda etapa, identificamos os temas abordados nas 101 publicações sobre modelagem preditiva com espécies ameaçadas, dentre as seguintes 13 categorias: identificação de áreas prioritárias para conservação; alteração da distribuição potencial futura devido às mudanças climáticas; identificação das variáveis ambientais mais importantes; redução da área de distribuição geográfica das espécies; comparação das análises preditivas em diferentes escalas; comparação de métodos na indicação de áreas adequadas; delimitação geográfica da distribuição das espécies; identificação de áreas adequadas para reintrodução e/ou translocação de espécies; identificação de áreas adequadas para encontrar novas populações; modelagem de distribuição incluindo interações bióticas; proposta de atualização do status de ameaça na IUCN; modelagem de distribuição em períodos pretéritos e risco de espécies exóticas sobre a distribuição geográfica de espécies nativas. Em seguida, identificamos a proporção das escalas abordadas (local, paisagem, regional, macrorregional, macrorregional/global, global ou multiescalar) nesses estudos. Na quarta etapa, classificamos as variáveis ambientais utilizadas em cada uma das publicações em seis categorias: *climáticas*, *topográficas*, *coberturas do solo naturais*, *indicadoras de antropização*, *aquáticas* e *outras*. Por fim, selecionamos as publicações que informaram sobre a importância preditiva das variáveis ambientais nos modelos e identificamos: a escala adotada, quais variáveis ambientais tiveram maior poder preditivo no modelo, quais categorias de variáveis foram considerados nos modelos e avaliamos se os resultados variaram dependendo da escala espacial adotada.

AGRADECIMENTOS. Agradecemos a Marinez Siqueira, Mariana Vale e Renato Crouzeilles pelas sugestões na versão anterior. Aos revisores anônimos pelos comentários finais. Ao CNPq, CAPES e FAPERJ, pelo financiamento complementar desta pesquisa por meio de bolsas de estudo e de produtividade.

REFERÊNCIAS

Abba, A. M.; Tognelli, M. F.; Seitz, V. P.; Bender, J. B. and Vizcaíno, S. F. 2012. Distribution of extant xenarthrans

- (Mammalia: Xenarthra) in Argentina using species distribution models. *Mammalia*, 76: 123-136, <http://dx.doi.org/10.1515/mammalia-2011-0089>
- Aguirre Gutierrez, J. and Duivenvoorden, J. F. 2010. Can we expect to protect threatened species in protected areas? A case study of the genus *Pinus* in Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 81: 875-882.
- Anadón, J. D.; Giménez, A.; Graciá, E.; Pérez, I.; Ferrández, M.; Fahd, S.; El Mouden, H.; Kalboussi, M.; Jdeidi, T.; Larbes, S.; Rouag, R.; Slimani, T.; Znari, M. and Fritz, U. 2012. Distribution of *Testudo graeca* in the western Mediterranean according to climatic factors. *Amphibia Reptilia*, 33: 285-296, <http://dx.doi.org/10.1163/156853812x643710>
- Arroyo, T. P. F.; Olson, M. E.; García-Mendoza, A. and Solano, E. 2009. A GIS-based comparison of the Mexican national and IUCN methods for determining extinction risk. *Conservation Biology*, 23: 1156-1166, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1523-1739.2009.01241.x>
- Attorre, F.; Taleb, N.; De Sanctis, M.; Farcomeni, A.; Guillet, A. and Vitale, M. 2011. Developing conservation strategies for endemic tree species when faced with time and data constraints: *Boswellia* spp. on Socotra (Yemen). *Biodiversity and Conservation*, 20: 1483-1499, <http://dx.doi.org/10.1007/s10531-011-0039-7>
- Ballesteros-Barrera, C.; Martínez-Meyer, E. and Gadsden, H. 2007. Effects of land-cover transformation and climate change on the distribution of two microendemic lizards, genus *Uma*, of northern Mexico. *Journal of Herpetology*, 41: 733-740, <http://dx.doi.org/10.1670/06-276.1>
- Barbet-Massin, M. and Jiguet, F. 2011. Back from a predicted climatic extinction of an island endemic: A future for the Corsican Nuthatch. *PLoS ONE*, 6: e18228, <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0018228>
- Barnosky, A. D.; Matzke, N.; Tomiya, S.; Wogan, G. O.; Swartz, B.; Quental, T. B.; Marshall, C.; McGuire, J. L.; Lindsey, E. L. and Maguire, K. C. 2011. Has the Earth's sixth mass extinction already arrived? *Nature*, 471: 51-57, <http://dx.doi.org/10.1038/nature09678>
- Barrows, C. W.; Swartz, M. B.; Hodges, W. L.; Allen, M. F.; Rotenberry, J. T.; Li, B.-L.; Scott, T. A. and Chen, X. 2005. A framework for monitoring multiple-species conservation plans. *Journal of Wildlife Management*, 69: 1333-1345, [http://dx.doi.org/10.2193/0022-541X\(2005\)69\[1333:AFFMMC\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.2193/0022-541X(2005)69[1333:AFFMMC]2.0.CO;2)
- Bateman, B. L.; Abell-Davis, S. E. and Johnson, C. N. 2011. Climate-driven variation in food availability between the core and range edge of the endangered northern bettong (*Bettongia tropica*). *Australian Journal of Zoology*, 59:177-185, <http://dx.doi.org/10.1071/zo11079>
- Bateman, B. L.; Vanderwal, J. and Johnson, C. N. 2012. Nice weather for bettongs: Using weather events, not climate means, in species distribution models. *Ecography*, 35: 306-314, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1600-0587.2011.06871.x>
- Baumberger, T.; Croze, T.; Affre, L. and Mesléard, F. 2012. Co-occurring species indicate habitats of the rare *Limonium girardinum*. *Plant Ecology and Evolution*, 145: 31-37, <http://dx.doi.org/10.5091/plecevo.2012.685>
- Blank, L. and Blaustein, L. 2012. Using ecological niche modeling to predict the distributions of two endangered amphibian species in aquatic breeding sites. *Hydrobiologia*, 693: 157-167, <http://dx.doi.org/10.1007/s10750-012-1101-5>
- Burnett, C. and Blaschke, T. 2003. A multi-scale segmentation/object relationship modelling methodology for landscape analysis. *Ecological Modelling*, 168: 233-249, [http://dx.doi.org/10.1016/S0304-3800\(03\)00139-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0304-3800(03)00139-X)
- Butchart, S. H.; Walpole, M.; Collen, B.; Van Strien, A.; Scharlemann, J. P.; Almond, R. E.; Baillie, J. E.; Bomhard, B.; Brown, C. and Bruno, J. 2010. Global biodiversity: indicators of recent declines. *Science*, 328: 1164-1168, <http://dx.doi.org/10.1126/science.1187512>
- Chapin III, F. S.; Zavaleta, E. S.; Eviner, V. T.; Naylor, R. L.; Vitousek, P. M.; Reynolds, H. L.; Hooper, D. U.; Lavorel, S.; Sala, O. E. and Hobbie, S. E. 2000. Consequences of changing biodiversity. *Nature*, 405: 234-242, <http://dx.doi.org/10.1038/35012241>
- Chefaoui, R. M.; Lobo, J. M. and Hortal, J. 2011. Effects of species' traits and data characteristics on distribution models of threatened invertebrates. *Animal Biodiversity and Conservation*, 34: 229-247.
- Cianfrani, C.; Le Lay, G.; Hirzel, A. H. and Loy, A. 2010. Do habitat suitability models reliably predict the recovery areas of threatened species? *Journal of Applied Ecology*, 47: 421-430, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2664.2010.01781.x>
- Cianfrani, C.; Lay, G. L.; Maiorano, L.; Satizábal, H. F.; Loy, A. and Guisan, A. 2011. Adapting global conservation strategies to climate change at the European scale: The otter as a flagship species. *Biological Conservation*, 144: 2068-2080, <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2011.03.027>
- Cleve, C.; Perrine, J.; Holzman, B. and Hines, E. 2011. Addressing biased occurrence data in predicting potential Sierra Nevada red fox habitat for survey prioritization. *Endangered Species Research*, 14: 179-191, <http://dx.doi.org/10.3354/esr00348>
- Conlisk, E.; Lawson, D.; Syphard, A. D.; Franklin, J.; Flint, L.; Flint, A. and Regan, H. M. 2012. The roles of dispersal, fecundity, and predation in the population persistence of an oak (*Quercus engelmannii*) under global change. *PLoS ONE*, 7 : e36391, <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0036391>
- Contreras, V.; Martínez-Meyer, E.; Valiente, E. and Zambrano, L. 2009. Recent decline and potential distribution in the last remnant area of the microendemic Mexican axolotl (*Ambystoma mexicanum*). *Biological Conservation*, 142: 2881-2885, <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2009.07.008>
- Convertino, M.; Kiker, G. A.; Muñoz-Carpena, R.; Chu-Agor, M. L.; Fischer, R. A. and Linkov, I. 2011. Scale- and resolution-invariance of suitable geographic range for shorebird metapopulations. *Ecological Complexity*, 8: 364-376, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecocom.2011.07.007>
- Cord, A. and Dder, D. R. 2011. Inclusion of habitat availability in species distribution models through multi-temporal remote-sensing data? *Ecological Applications*, 21: 3285-3298, <http://dx.doi.org/10.1890/11-0114.1>
- Coudun, C. and Gégout, J. C. 2007. Quantitative prediction of the distribution and abundance of *Vaccinium myrtillus* with climatic and edaphic factors. *Journal of Vegetation Science*, 18: 517-524, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1654-1103.2007.tb02566.x>
- Crawford, P. H. C. and Hoagland, B. W. 2010. Using species distribution models to guide conservation at the state level: the endangered American burying beetle (*Nicrophorus americanus*) in Oklahoma. *Journal of Insect Conservation*, 14: 511-521, <http://dx.doi.org/10.1007/s10841-010-9280-8>
- Crutzen, P. J. 2002. Geology of mankind. *Nature*, 415: 23-23, <http://dx.doi.org/10.1038/415023a>
- Daly, C.; Halbleib, M.; Smith, J. I.; Gibson, W. P.; Doggett, M. K.; Taylor, G. H.; Curtis, J. and Pasteris, P. P. 2008.

- Physiographically sensitive mapping of climatological temperature and precipitation across the conterminous United States. *International journal of climatology*, 28: 2031-2064, <http://dx.doi.org/10.1002/joc.1688>
- Davies, R. G.; Orme, C. D. L.; Olson, V.; Thomas, G. H.; Ross, S. G.; Ding, T.-S.; Rasmussen, P. C.; Stattersfield, A. J.; Bennett, P. M. and Blackburn, T. M. 2006. Human impacts and the global distribution of extinction risk. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 273: 2127-2133, <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2006.3551>
- Dambachl, J. and Rödder, D. 2011. Applications and future challenges in marine species distribution modeling. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 21(1): 92-100. <http://dx.doi.org/10.1002/aqc.1160>
- Diamond, J. M.; Ashmole, N. and Purves, P. 1989. The present, past and future of human-caused extinctions [and discussion]. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B: Biological Sciences*, 325: 469-477, <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.1989.0100>
- Dias, M. A.; Simo, M.; Castellano, I. and Brescovit, A. D. 2011. Modeling distribution of *Phoneutria bahiensis* (Araneae: Ctenidae): an endemic and threatened spider from Brazil. *Zoologia*, 28: 432-439, <http://dx.doi.org/10.1590/s1984-46702011000400004>
- Diaz, R. J. and Rosenberg, R. 2008. Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. *Science*, 321: 926-929, <http://dx.doi.org/10.1126/science.1156401>
- Domínguez-Domínguez, O.; Martínez-Meyer, E.; Zambrano, L.; DE, L. and PÉREZ-PONCE, G. 2006. Using Ecological-Niche Modeling as a Conservation Tool for Freshwater Species: Live-Bearing Fishes in Central Mexico. *Conservation Biology*, 20: 1730-1739, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1523-1739.2006.00588.x>
- Early, R.; Anderson, B. and Thomas, C. D. 2008. Using habitat distribution models to evaluate large-scale landscape priorities for spatially dynamic species. *Journal of Applied Ecology*, 45: 228-238, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2664.2007.01424.x>
- Embert, D.; Reichle, S.; Larrea-Alcázar, D. M.; Cortez, C.; Munoz, A.; Gonzales, L.; Montaña, R.; Aguayo, R.; Domic, E. and Padial, J. M. 2011. Priority areas for amphibian conservation in a neotropical megadiverse country: the need for alternative, non place based, conservation. *Biodiversity and Conservation*, 20: 1557-1570, <http://dx.doi.org/10.1007/s10531-011-0045-9>
- Engler, R.; Guisan, A. and Rechsteiner, L. 2004. An improved approach for predicting the distribution of rare and endangered species from occurrence and pseudo-absence data. *Journal of Applied Ecology*, 41: 263-274, <http://dx.doi.org/10.1111/j.0021-8901.2004.00881.x>
- Estes, L. D.; Mwangi, A. G.; Reillo, P. R. and Shugart, H. H. 2011. Predictive distribution modeling with enhanced remote sensing and multiple validation techniques to support mountain bongo antelope recovery. *Animal Conservation*, 14: 521-532, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-1795.2011.00457.x>
- Falagas, M. E.; Pitsouni, E. I.; Malietzis, G. A. and PAPPAS, G. 2008. Comparison of PubMed, Scopus, web of science, and Google scholar: strengths and weaknesses. *The FASEB Journal*, 22: 338-342, <http://dx.doi.org/10.1096/fj.07-9492LSF>
- Fouquet, A.; Ficetola, G. F.; Haigh, A. and Gemmell, N. 2010. Using ecological niche modelling to infer past, present and future environmental suitability for *Leiopelma hochstetteri*, an endangered New Zealand native frog. *Biological Conservation*, 143: 1375-1384, <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2010.03.012>
- Franklin, J. 2009. Species distribution modeling Pp. 3-20 In: J. Franklin (ed.). Mapping species distributions: spatial inference and prediction. Cambridge University Press.
- Freile, J. F.; Parra, J. L. and Graham, C. H. 2010. Distribution and conservation of *Grallaria* and *Grallaricula antpittas* (Grallariidae) in Ecuador. *Bird Conservation International*, 20: 410-431, <http://dx.doi.org/10.1017/s0959270910000262>
- Gale, G. A.; Reed, D. H.; Leimgruber, P. and Songsasen, N. 2012. Mapping the distribution of dholes, *Cuon alpinus* (Canidae, Carnivora), in Thailand. *Mammalia*, 76: 175-184.
- García-Rodríguez, A.; Chaves, G.; Benavides-Varela, C. and Puschendorf, R. 2012. Where are the survivors? Tracking relictual populations of endangered frogs in Costa Rica. *Diversity and Distributions*, 18: 204-212, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1472-4642.2011.00862.x>
- Gaubert, P.; Pape^a, M. and Peterson, A. 2006. Natural history collections and the conservation of poorly known taxa: Ecological niche modeling in central African rainforest genets (*Genetta* spp.). *Biological Conservation*, 130: 106-117, <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2005.12.006>
- Gavel, Y. and Iselid, L. 2008. Web of Science and Scopus: a journal title overlap study. *Online information review*, 32: 8-21, <http://dx.doi.org/10.1108/14684520810865958>
- Giannini, T. C. 2012. Desafios atuais da modelagem preditiva de distribuição de espécies. *Rodriguésia*, 63: 733-749.
- Gibson, L.; Barrett, B. and Burbidge, A. 2007. Dealing with uncertain absences in habitat modelling: A case study of a rare ground-dwelling parrot. *Diversity and Distributions*, 13: 704-713, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1472-4642.2007.00365.x>
- Gibson, L.; McNeill, A.; Tores, P. D.; Wayne, A. and Yates, C. 2010. Will future climate change threaten a range restricted endemic species, the quokka (*Setonix brachyurus*), in south west Australia? *Biological Conservation*, 143: 2453-2461, <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2010.06.011>
- Gogol-Prokurat, M. 2011. Predicting habitat suitability for rare plants at local spatial scales using a species distribution model. *Ecological Applications*, 21: 33-47, <http://dx.doi.org/10.1890/09-1190.1>
- Gray, T. N. E.; Borey, R.; Hout, S. K.; Chamnan, H.; Collar, N. J. and Dolman, P. M. 2009. Generality of models that predict the distribution of species: Conservation activity and reduction of model transferability for a threatened bustard. *Conservation Biology*, 23: 433-439, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1523-1739.2008.01112.x>
- Grele, C. E. and Cerqueira, R. 2006. Determinants of geographical range of *Callithrix flaviceps* (Thomas) (Primates, Callitrichidae). *Revista Brasileira de Zoologia*, 23: 414-420, <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-81752006000200016>
- Guisan, A. and Zimmermann, N. E. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*, 135: 147-186, [http://dx.doi.org/10.1016/S0304-3800\(00\)00354-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0304-3800(00)00354-9)
- Guisan, A. and Thuiller, W. 2005. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology Letters*, 8: 993-1009, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00792.x>
- Guisan, A.; Broennimann, O.; Engler, R.; Vust, M.; Yoccoz, N. G.; Lehmann, A. and Zimmermann, N. E. 2006. Using Niche-Based Models to Improve the Sampling of Rare Species. *Conservation Biology*, 20: 501-511, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1523-1739.2006.00354.x>
- Gutiérrez, J. A. and Duivenvoorden, J. F. 2010. Can we expect to protect threatened species in protected areas? A case

- study of the genus *Pinus* in Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 81: 875-882.
- Habel, J.; Schmitt, T.; Meyer, M.; Finger, A.; Rödder, D.; Assmann, T. and Zachos, F. 2010. Biogeography meets conservation: The genetic structure of the endangered lycaenid butterfly *Lycaena helle* (Denis and Schiffermüller, 1775). *Biological Journal of the Linnean Society*, 101: 155-168, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1095-8312.2010.01471.x>
- Hansen, A. J.; Neilson, R. P.; Dale, V. H.; Flather, C. H.; Iverson, L. R.; Currie, D. J.; Shafer, S.; Cook, R. and Bartlein, P. J. 2001. Global Change in Forests: Responses of Species, Communities, and Biomes: Interactions between climate change and land use are projected to cause large shifts in biodiversity. *BioScience*, 51:765-779, [http://dx.doi.org/10.1641/0006-3568\(2001\)051\[0765:GCFIRO\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1641/0006-3568(2001)051[0765:GCFIRO]2.0.CO;2)
- Hengl, T.; Minasny, B. and Gould, M. 2009. A geostatistical analysis of geostatistics. *Scientometrics*, 80: 491-514, <http://dx.doi.org/10.1007/s11192-009-0073-3>
- Hernandez, P. A.; Franke, I.; Herzog, S. K.; Pacheco, V.; Paniagua, L.; Quintana, H. L.; Soto, A.; Swenson, J. J.; Tovar, C.; Valqui, T. H.; Vargas, J. and Young, B. E. 2008. Predicting species distributions in poorly-studied landscapes. *Biodiversity and Conservation*, 17: 1353-1366, <http://dx.doi.org/10.1007/s10531-007-9314-z>
- Hijmans, R. J.; Cameron, S. E.; Parra, J. L.; Jones, P. G. and Jarvis, A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International journal of climatology*, 25: 1965-1978, <http://dx.doi.org/10.1002/joc.1276>
- Hirzel, A.; Hausser, J.; Chessel, D. and Perrin, N. 2002. Ecological-niche factor analysis: how to compute habitat-suitability maps without absence data? *Ecology*, 83: 2027-2036, [http://dx.doi.org/10.1890/0012-9658\(2002\)083\[2027:ENFAHT\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1890/0012-9658(2002)083[2027:ENFAHT]2.0.CO;2)
- Hoffmann, M.; Hilton-Taylor, C.; Angulo, A.; Böhm, M.; Brooks, T. M.; Butchart, S. H.; Carpenter, K. E.; Chanson, J.; Collen, B. and Cox, N. A. 2010. The impact of conservation on the status of the world's vertebrates. *Science*, 330: 1503-1509, <http://dx.doi.org/10.1126/science.1194442>
- Hu, J.; Hu, H. and Jiang, Z. 2010. The impacts of climate change on the wintering distribution of an endangered migratory bird. *Oecologia*, 164: 555-565, <http://dx.doi.org/10.1007/s00442-010-1732-z>
- Hu, J. and Jiang, Z. 2010. Predicting the potential distribution of the endangered *Przewalski's gazelle*. *Journal of Zoology*, 282: 54-63, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-7998.2010.00715.x>
- Iloldi-Rangel, P.; Ciarleglio, M.; Sheinvar, L.; Linaje, M.; Sánchez-Cordero, V. and Sarkar, S. 2012. Opuntia in México: Identifying priority areas for conserving biodiversity in a multi-use landscape. *PLoS ONE*, 7: e36650, <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0036650>
- Irfan-Ullah, M.; Amarnath, G.; Murthy, M. S. R. and Peterson, A. T. 2007. Mapping the geographic distribution of *Aglaia bourdillonii* Gamble (Meliaceae), an endemic and threatened plant, using ecological niche modeling. *Biodiversity and Conservation*, 16: 1917-1925, <http://dx.doi.org/10.1007/s10531-006-9110-1>
- Jablonski, D. 1986. Background and mass extinctions: the alternation of macroevolutionary regimes. *Science*, 231:129-133, <http://dx.doi.org/10.1126/science.231.4734.129>
- Jackson, C. R. and Robertson, M. P. 2011. Predicting the potential distribution of an endangered cryptic subterranean mammal from few occurrence records. *Journal for Nature Conservation*, 19: 87-94, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jnc.2010.06.006>
- Jenks, K. E.; Kitamura, S.; Lynam, A. J.; Ngoprasert, D.; Chutipong, W.; Steinmetz, R.; Sukmasuang, R.; Grassman JR, L. I.; Cutter, P.; Tantipisanuh, N.; Bhumpakphan, N.; Jiguet, F.; Barbet-Massin, M. and Henry, P. Y. 2010. Predicting potential distributions of two rare allopatric sister species, the globally threatened *Doliornis cotingas* in the Andes. *Journal of Field Ornithology*, 81: 325-339, <http://dx.doi.org/10.1515/mammalia-2011-0063>
- Jiménez-Alfaro, B.; Draper, D. and Nogués-Bravo, D. 2012. Modeling the potential area of occupancy at fine resolution may reduce uncertainty in species range estimates. *Biological Conservation*, 147: 190-196, <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2011.12.030>
- Jiménez-Valverde, A.; Gómez, J. F.; Lobo, J. M.; Baselga, A. and Hortal, J. 2008. Challenging species distribution models: The case of *Maculinea nausithous* in the Iberian Peninsula. *Annales Zoologici Fennici*, 45: 200-210, <http://dx.doi.org/10.5735/086.045.0305>
- Justià, D.; Turner, R. E. and Rabalais, N. N. 2003. Climatic influences on riverine nitrate flux: Implications for coastal marine eutrophication and hypoxia. *Estuaries*, 26: 1-11, <http://dx.doi.org/10.1007/BF02691688>
- Kharouba, H. M.; Nadeau, J. L.; Young, E. and Kerr, J. T. 2008. Using species distribution models to effectively conserve biodiversity into the future. *Biodiversity*, 9: 39-46, <http://dx.doi.org/10.1080/14888386.2008.9712906>
- Kuemmerle, T.; Perzanowski, K.; Chaskovskyy, O.; Ostapowicz, K.; Halada, L.; Bashta, A. T.; Kruhlov, I.; Hostert, P.; Waller, D. M. and Radeloff, V. C. 2010. European Bison habitat in the Carpathian Mountains. *Biological Conservation*, 143: 908-916, <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2009.12.038>
- Kuemmerle, T.; Radeloff, V. C.; Perzanowski, K.; Kozlo, P.; Sipko, T.; Khojetskyy, P.; Bashta, A.-T.; Chikurova, E.; Parnikoza, I. and Baskin, L. 2011. Predicting potential European bison habitat across its former range. *Ecological Applications*, 21: 830-843, <http://dx.doi.org/10.1890/10-0073.1>
- Kuemmerle, T.; Hickler, T.; Olofsson, J.; Schurgers, G. and Radeloff, V. C. 2012. Reconstructing range dynamics and range fragmentation of European bison for the last 8000 years. *Diversity and Distributions*, 18: 47-59, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1472-4642.2011.00849.x>
- Lassalle, G.; Béguer, M.; Beaulaton, L. and Rochard, E. 2008. Diadromous fish conservation plans need to consider global warming issues: An approach using biogeographical models. *Biological Conservation*, 141: 1105-1118, <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2008.02.010>
- Leyequien, E.; Verrelst, J.; Slot, M.; Schaepman-STRUB, G.; Heitkönig, I. and Skidmore, A. 2007. Capturing the fugitive: Applying remote sensing to terrestrial animal distribution and diversity. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 9: 1-20, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jag.2006.08.002>
- Liang, C. T. and Stohlgren, T. J. 2011. Habitat suitability of patch types: A case study of the Yosemite toad. *Frontiers of Earth Science*, 5: 217-228, <http://dx.doi.org/10.1007/s11707-011-0157-2>
- Loiselle, B. A.; Graham, C. H.; Goerck, J. M. and Ribeiro, M. C. 2010. Assessing the impact of deforestation and climate change on the range size and environmental niche of bird species in the Atlantic forests, Brazil. *Journal of Biogeography*, 37: 1288-1301, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2699.2010.02285.x>
- Lomba, A.; Pellissier, L.; Randin, C.; Vicente, J.; Moreira, F.; Honrado, J. and Guisan, A. 2010. Overcoming the rare species

- modelling paradox: A novel hierarchical framework applied to an Iberian endemic plant. *Biological Conservation*, 143: 2647-2657, <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2010.07.007>
- López-Toledo, L.; Gonzalez-Salazar, C.; Burslem, D. F. and Martinez-Ramos, M. 2011. Conservation assessment of *Guaiaacum sanctum* and *Guaiaacum coulteri*: Historic distribution and future trends in Mexico. *Biotropica*, 43: 246-255, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1744-7429.2010.00682.x>
- Lorini, M. L. 2007. Abordagem hierárquica e multiescalar para análises de distribuição geográfica da biodiversidade: sistemas quaternários costeiros da Mata Atlântica como estudo de caso. *Tese de Doutorado*. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 301p.
- Louzao, M.; Delord, K.; García, D.; Boué, A. and Weimerskirch, H. 2012. Protecting persistent dynamic oceanographic features: Transboundary conservation efforts are needed for the critically endangered balearic shearwater. *PLoS ONE*, 7: e35728, <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0035728>
- Mace, G. M. and Kunin, W. 1994. Classifying Threatened Species: Means and Ends [and Discussion]. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 344: 91-97, <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.1994.0056>
- Marini, M. A.; Barbet-Massin, M.; Lopes, L. E. and Jiguet, F. 2009a. Major current and future gaps of Brazilian reserves to protect Neotropical savanna birds. *Biological Conservation*, 142: 3039-3050, <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2009.08.002>
- Marini, M. A.; Barbet-Massin, M.; Lopes, L. E. and Jiguet, F. 2009b. Predicted Climate-Driven Bird Distribution Changes and Forecasted Conservation Conflicts in a Neotropical Savanna. *Conservation Biology*, 23: 1558-1567, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1523-1739.2009.01258.x>
- Marini, M. A.; Barbet-Massin, M.; Lopes, L. E. and Jiguet, F. 2010a. Predicting the occurrence of rare Brazilian birds with species distribution models. *Journal of Ornithology*, 151: 857-866, <http://dx.doi.org/10.1007/s10336-010-0523-y>
- Marini, M. A.; Barbet-Massin, M.; Martinez, J.; Prestes, N. P. and Jiguet, F. 2010b. Applying ecological niche modelling to plan conservation actions for the Red-spectacled Amazon (*Amazona pretrei*). *Biological Conservation*, 143:102-112, <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2009.09.009>
- Marino, J.; Bennett, M.; Cossios, D.; Iriarte, A.; Lucherini, M.; Plissock, P.; Sillero-Zubiri, C.; Villalba, L. and Walker, S. 2011. Bioclimatic constraints to Andean cat distribution: a modelling application for rare species. *Diversity and Distributions*, 17: 311-322, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1472-4642.2011.00744.x>
- Marín-Togo, M. C.; Monterrubio-Rico, T. C.; Renton, K.; Rubio-Rocha, Y.; Macias-Caballero, C.; Ortega-Rodríguez, J. M. and Cancino-Murillo, R. 2012. Reduced current distribution of Psittacidae on the Mexican Pacific coast: potential impacts of habitat loss and capture for trade. *Biodiversity and Conservation*, 21: 451-473, <http://dx.doi.org/10.1007/s10531-011-0193-y>
- Martinez-Meyer, E.; Peterson, A. T.; Servin, J. I. and Kiff, L. F. 2006. Ecological niche modelling and prioritizing areas for species reintroductions. *Oryx*, 40: 411-418, <http://dx.doi.org/10.1017/S0030605306001360>
- MEA (Millennium Ecosystem Assessment), 2005. Condition and trends working group, ecosystems and human well-being: current state and trends. Washington, DC: Island Press. 86 p.
- Millar, C. S. and Blouin-Demers, G. 2012. Habitat suitability modelling for species at risk is sensitive to algorithm and scale: A case study of Blanding's turtle, *Emydoidea blandingii*, in Ontario, Canada. *Journal for Nature Conservation*, 20: 18-29, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jnc.2011.07.004>
- Mladenoff, D. J. and Sickley, T. A. 1998. Assessing potential gray wolf restoration in the northeastern United States: a spatial prediction of favorable habitat and potential population levels. *The Journal of wildlife management*, 62: 1-10.
- Monterrubio-Rico, T. C.; Renton, K.; Ortega-Rodríguez, J. M.; Pérez-Arteaga, A. and Cancino-Murillo, R. 2010. The Endangered yellow-headed parrot *Amazona oratrix* along the Pacific coast of Mexico. *Oryx*, 44: 602-609, <http://dx.doi.org/10.1017/S0030605310000980>
- Moruela-Holme, N.; Fløjgaard, C. and Svenning, J. C. 2010. Climate change risks and conservation implications for a threatened small-range mammal species. *PLoS ONE*, 5: e10360, <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0010360>
- Murray, J. V.; Low Choy, S.; McAlpine, C. A.; Possingham, H. P. and Goldizen, A. W. 2008. The importance of ecological scale for wildlife conservation in naturally fragmented environments: A case study of the brush-tailed rock-wallaby (*Petrogale penicillata*). *Biological Conservation*, 141:7-22, <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2007.07.020>
- Murray-Smith, C.; Brummitt, N. A.; Oliveira-Filho, A. T.; Bachman, S.; Moat, J.; Lughadha, E. M. N. and Lucas, E. J. 2009. Plant Diversity Hotspots in the Atlantic Coastal Forests of Brazil. *Conservation Biology*, 23: 151-163, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1523-1739.2008.01075.x>
- Nabout, J.; Soares, T.; Diniz-Filho, J.; De Marco Júnior, P.; Telles, M.; Naves, R. and Chaves, L. 2010. Combining multiple models to predict the geographical distribution of the Baru tree (*Dipteryx alata* Vogel) in the Brazilian Cerrado. *Brazilian Journal of Biology*, 70: 911-919, <http://dx.doi.org/10.1590/S1519-69842010000500001>
- Neel, M. C. 2008. Patch connectivity and genetic diversity conservation in the federally endangered and narrowly endemic plant species *Astragalus albens* (Fabaceae). *Biological Conservation*, 141: 938-955, <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2007.12.031>
- Nóbrega, C. C. and De Marco, P. 2011. Unprotecting the rare species: A niche-based gap analysis for odonates in a core Cerrado area. *Diversity and Distributions*, 17: 491-505, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1472-4642.2011.00749.x>
- Ortega Huerta, M. A. 2007. Fragmentation patterns and implications for biodiversity conservation in three biosphere reserves and surrounding regional environments, northeastern Mexico. *Biological Conservation*, 134: 83-95, <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2006.08.007>
- Ortiz-Martínez, T.; Rico-Gray, V. and Martínez-Meyer, E. 2008. Predicted and verified distributions of *Ateles geoffroyi* and *Alouatta palliata* in Oaxaca, Mexico. *Primates*, 49: 186-194, <http://dx.doi.org/10.1007/s10329-008-0088-z>
- Parra-Olea, G.; Martínez-Meyer, E. and De León, G. P.-P. 2005. Forecasting Climate Change Effects on Salamander Distribution in the Highlands of Central Mexico. *Biotropica*, 37: 202-208, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1744-7429.2005.00027.x>
- Pearson, R.; Dawson, T.; Berry, P. and Harrison, P. 2002. SPECIES: a spatial evaluation of climate impact on the envelope of species. *Ecological Modelling*, 154: 289-300, [http://dx.doi.org/10.1016/S0304-3800\(02\)00056-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0304-3800(02)00056-X)
- Pearson, R. G. and Dawson, T. P. 2003. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? *Global Ecology and Biogeography*, 12: 361-371, <http://dx.doi.org/10.1046/j.1466-822X.2003.00042.x>
- Peralvo, M.; Sierra, R.; Young, K. R. and Ulloa-Ulloa, C. 2007. Identification of biodiversity conservation priorities

- using predictive modeling: an application for the equatorial pacific region of South America. *Biodiversity and Conservation*, 16: 2649-2675, <http://dx.doi.org/10.1007/s10531-006-9077-y>
- Peterson, A. T. and Robins, C. R. 2003. Using Ecological Niche Modeling to Predict Barred Owl Invasions with Implications for Spotted Owl Conservation. *Conservation Biology*, 17: 1161-1165, <http://dx.doi.org/10.1046/j.1523-1739.2003.02206.x>
- Peterson, A. T.; Navarro-Sigüenza, A. G. and Li, X. 2010. Joint effects of marine intrusion and climate change on the Mexican avifauna. *Annals of the Association of American Geographers*, 100: 908-916, <http://dx.doi.org/10.1080/00045608.2010.497351>
- Peterson, A. T.; Soberon, J.; Pearson, R. G.; Anderson, R. P.; Martinez-Meyer, E.; Nakamura, M. and Araujo, M. B. 2011. Conservation planning and climate change effect Pp.200-208. In: A.T. Peterson et al. (ed.). *Ecological Niches and Geographic Distributions*. Princeton University Press.
- Peterson, A. T. and Soberon, J. 2012. Species distribution modeling and ecological niche modeling: getting the concepts right. *Natureza and Conservação*, 10: 102-107, <http://dx.doi.org/10.4322/natcon.2012.019>
- Phillips, S. J.; Anderson, R. P. and Schapire, R. E. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190: 231-259, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
- Pimm, S. L.; Russell, G. J.; Gittleman, J. L. and Brooks, T. M. 1995. The future of biodiversity. *Science*: 347-347, <http://dx.doi.org/10.1038/35002708>
- Pimm, S. L. and Raven, P. 2000. Biodiversity: extinction by numbers. *Nature*, 403: 843-845, <http://dx.doi.org/10.1038/35002708>
- Pouteau, R.; Meyer, J.-Y.; Taputuarai, R. and Stoll, B. 2012. Support vector machines to map rare and endangered native plants in Pacific islands forests. *Ecological Informatics*, 9: 37-46, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoinf.2012.03.003>
- Powell, M.; Accad, A.; Austin, M. P.; Low Choy, S.; Williams, K. J. and Shapcott, A. 2010. Predicting loss and fragmentation of habitat of the vulnerable subtropical rainforest tree *Macadamia integrifolia* with models developed from compiled ecological data. *Biological Conservation*, 143: 1385-1396, <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2010.03.013>
- Pyšek, P.; Richardson, D. M.; Pergl, J.; Jarošík, V.; Sixtová, Z. and Weber, E. 2008. Geographical and taxonomic biases in invasion ecology. *Trends in Ecology and Evolution*, 23: 237-244, <http://dx.doi.org/10.1016/j.tree.2008.02.002>
- Qi, D.; Hu, Y.; Gu, X.; Li, M. and Wei, F. 2009. Ecological niche modeling of the sympatric giant and red pandas on a mountain-range scale. *Biodiversity and Conservation*, 18: 2127-2141, <http://dx.doi.org/10.1007/s10531-009-9577-7>
- Qi, D.; Zhang, S.; Zhang, Z.; Hu, Y.; Yang, X.; Wang, H. and Wei, F. 2011. Different habitat preferences of male and female giant pandas. *Journal of Zoology*, 285: 205-214, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-7998.2011.00831.x>
- Queiroz, T. F. D.; Baughman, C.; Baughman, O.; Gara, M. and Williams, N. 2012. Species distribution modeling for conservation of rare, edaphic endemic plants in White River Valley, Nevada. *Natural Areas Journal*, 32: 149-158, <http://dx.doi.org/10.3375/043.032.0203>
- Razgour, O.; Hanmer, J. and Jones, G. 2011. Using multi-scale modelling to predict habitat suitability for species of conservation concern: The grey long-eared bat as a case study. *Biological Conservation*, 144: 2922-2930, <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2011.08.010>
- Rebello, H.; Froufe, E.; Brito, J. C.; Russo, D.; Cistrone, L.; Ferrand, N. and Jones, G. 2012. Postglacial colonization of Europe by the barbastelle bat: Agreement between molecular data and past predictive modelling. *Molecular Ecology*, 21: 2761-2774, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-294X.2012.05566.x>
- Richardson, D. M. 2012. Conservation biogeography: what's hot and what's not? *Diversity and Distributions*, 18: 319-322, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1472-4642.2012.00910.x>
- Rödger, D.; Engler, J. O.; Bonke, R.; Weinsheimer, F. and Pertel, W. 2010. Fading of the last giants: An assessment of habitat availability of the Sunda gharial *Tomistoma schlegelii* and coverage with protected areas. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 20: 678-684, <http://dx.doi.org/10.1002/aqc.1137>
- Rödger, D. and Schulte, U. 2010. Potential loss of genetic variability despite well established network of reserves: The case of the Iberian endemic lizard *Lacerta schreiberi*. *Biodiversity and Conservation*, 19: 2651-2666, <http://dx.doi.org/10.1007/s10531-010-9865-2>
- Rondinini, C.; Di Marco, M.; Chiozza, F.; Santulli, G.; Baisero, D.; Visconti, P.; Hoffmann, M.; Schipper, J.; Stuart, S. N.; Tognelli, M. F.; Amori, G.; Falcucci, A.; Maiorano, L. and Boitani, L. 2011. Global habitat suitability models of terrestrial mammals. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 366: 2633-2641, <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2011.0113>
- Rupprecht, F.; Oldeland, J. and Finckh, M. 2011. Modelling potential distribution of the threatened tree species *Juniperus oxycedrus*: how to evaluate the predictions of different modelling approaches? *Journal of Vegetation Science*, 22: 647-659, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1654-1103.2011.01269.x>
- Sala, O. E.; Chapin, F. S.; Armesto, J. J.; Berlow, E.; Bloomfield, J.; Dirzo, R.; Huber-Sanwald, E.; Huenneke, L. F.; Jackson, R. B. and Kinzig, A. 2000. Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*, 287: 1770-1774, <http://dx.doi.org/10.1126/science.287.5459.1770>
- Sánchez-Cordero, V.; Illoldi-Rangel, P.; Linaje, M.; Sarkar, S. and Peterson, A. T. 2005. Deforestation and extant distributions of Mexican endemic mammals. *Biological Conservation*, 126: 465-473, <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2005.06.022>
- Sanderson, E. W.; Jaiteh, M.; Levy, M. A.; Redford, K. H.; Wannebo, A. V. and Woolmer, G. 2002. The Human Footprint and the Last of the Wild: The human footprint is a global map of human influence on the land surface, which suggests that human beings are stewards of nature, whether we like it or not. *BioScience*, 52: 891-904, [http://dx.doi.org/10.1641/0006-3568\(2002\)052\[0891:THFATL\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1641/0006-3568(2002)052[0891:THFATL]2.0.CO;2)
- SCBD (Secretariat of the Convention on Biological Diversity), 2010. Global Biodiversity Outlook 3. Montreal Canada: SCBD. 94 p.
- Schrag, A.; Konrad, S.; Miller, S.; Walker, B. and Forrest, S. 2011. Climate-change impacts on sagebrush habitat and West Nile virus transmission risk and conservation implications for greater sage-grouse. *GeoJournal*, 76: 561-575, <http://dx.doi.org/10.1007/s10708-010-9369-3>
- Souza, T. V.; Lorini, M. L.; Alves, M. A. S.; Cordeiro, P. and Vale, M. M. 2011. Redistribution of threatened and endemic Atlantic forest birds under climate change. *Natureza and Conservação*, 9: 214-218, <http://dx.doi.org/10.4322/natcon.2011.028>
- Tanneberger, F.; Flade, M.; Preiksa, Z. and Schröder, B. 2010. Habitat selection of the globally threatened Aquatic Warbler *Acrocephalus paludicola* at the western margin of its breeding range and implications for management. *Ibis*, 152: 347-358, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1474-919X.2010.01016.x>
- Thomaes, A.; Kervyn, T. and Maes, D. 2008. Applying

- species distribution modelling for the conservation of the threatened saproxylic Stag Beetle (*Lucanus cervus*). *Biological Conservation*, 141: 1400-1410, <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2008.03.018>
- Thorn, J.; Nijman, V.; Smith, D. and Nekaris, K. 2009. Ecological niche modelling as a technique for assessing threats and setting conservation priorities for Asian slow lorises (Primates: Nycticebus). *Diversity and Distributions*, 15: 289-298, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1472-4642.2008.00535.x>
- Thuiller, W.; Araújo, M. B. and Lavorel, S. 2003. Generalized models vs. classification tree analysis: predicting spatial distributions of plant species at different scales. *Journal of Vegetation Science*, 14: 669-680, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1654-1103.2003.tb02199.x>
- Thuiller, W.; Broennimann, O.; Hughes, G.; Alkemade, J. R. M.; Midgley, G. F. and Corsi, F. 2006. Vulnerability of African mammals to anthropogenic climate change under conservative land transformation assumptions. *Global Change Biology*, 12: 424-440, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01115.x>
- Tingley, R.; Herman, T. B.; Pulsifer, M. D.; Mccurdy, D. G. and Stephens, J. P. 2010. Intra-specific niche partitioning obscures the importance of fine-scale habitat data in species distribution models. *Biodiversity and Conservation*, 19: 2455-2467, <http://dx.doi.org/10.1007/s10531-010-9852-7>
- Titeux, N.; Dufrene, M.; Radoux, J.; Hirzel, A. H. and Defourny, P. 2007. Fitness-related parameters improve presence-only distribution modelling for conservation practice: The case of the red-backed shrike. *Biological Conservation*, 138: 207-223, <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2007.04.019>
- Urbina-Cardona, J. N. and Flores-Villela, O. 2010. Ecological-niche modeling and prioritization of conservation-area networks for Mexican herpetofauna. *Conservation Biology*, 24: 1031-1041, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1523-1739.2009.01432.x>
- Vaquier-Sunyer, R. and Duarte, C. M. 2008. Thresholds of hypoxia for marine biodiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105: 15452-15457, <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.0803833105>
- Verbeek, A.; Debackere, K.; Luwel, M. and Zimmermann, E. 2002. Measuring progress and evolution in science and technology: The multiple uses of bibliometric indicators. *International Journal of Management Reviews*, 4: 179-211, <http://dx.doi.org/10.1111/1468-2370.00083>
- Vicente, J.; Randin, C. F.; Gonçalves, J.; Metzger, M. J.; Lomba, A.; Honrado, J. and Guisan, A. 2011. Where will conflicts between alien and rare species occur after climate and land-use change? A test with a novel combined modelling approach. *Biological Invasions*, 13: 1209-1227, <http://dx.doi.org/10.1007/s10530-011-9952-7>
- Vitousek, P. M.; Mooney, H. A.; Lubchenco, J. and Melillo, J. M. 1997. Human domination of Earth's ecosystems. *Science*, 277: 494-499, <http://dx.doi.org/10.1126/science.277.5325.494>
- Williams-Tripp, M.; D'amico, F. J. N.; Pagé, C.; Bertrand, A.; Némoz, M. and Brown, J. A. 2012. Modeling rare species distribution at the edge: The case for the vulnerable endemic Pyrenean desman in France. *The Scientific World Journal*, 2012: 1-6, <http://dx.doi.org/10.1100/2012/612965>
- Wilson, J. R.; Proches, S.; Braschler, B.; Dixon, E. S. and Richardson, D. M. 2007. The (bio) diversity of science reflects the interests of society. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5: 409-414, <http://dx.doi.org/10.1890/060077.1>
- Wilson, C. D.; Roberts, D. and Reid, N. 2011. Applying species distribution modelling to identify areas of high conservation value for endangered species: A case study using *Margaritifera margaritifera* (L.). *Biological Conservation*, 144:821-829, <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2010.11.014>
- Wilting, A.; Cord, A.; Hearn, A. J.; Hesse, D.; Mohamed, A.; Traeholdt, C.; Cheyne, S. M.; Sunarto, S.; Jayasilan, M.-A.; Ross, J.; Shapiro, A. C.; Sebastian, A.; Dech, S.; Breitenmoser, C.; Sanderson, J.; Duckworth, J. W. and Hofer, H. 2010. Modelling the Species Distribution of Flat-Headed Cats (*Prionailurus planiceps*), an Endangered South-East Asian Small Felid. *PLoS ONE*, 5: e9612, <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0009612>
- Woolmer, G.; Trombulak, S.C.; Ray, J.C.; Doran, P.J.; Anderson, M.G.; Baldwin, R.F.; Morgan, A.; Sanderson, E.W. 2008. Rescaling the Human Footprint: A tool for conservation planning at an ecoregional scale. *Landscape and Urban Planning*, 87: 42-53, <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2008.04.005>
- Woodward, F. and Williams, B. 1987. Climate and plant distribution at global and local scales. Pp. 189-197. In: I.C. Prentice and E. Maarel (ed.). *Theory and models in vegetation science*. Springer.
- Wu, J. 1999. Hierarchy and scaling: extrapolating information along a scaling ladder. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 25: 367-380.
- Wu, J. 2004. Effects of changing scale on landscape pattern analysis: scaling relations. *Landscape Ecology*, 19: 125-138, <http://dx.doi.org/10.1023/B:LAND.0000021711.40074.ae>
- Wu, J. and Li, H. 2006. Concepts of scale and scaling. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 25: 367-380, http://dx.doi.org/10.1007/s1-4020-4663-4_1
- Zalasiewicz, J.; Williams, M.; Steffen, W. and Crutzen, P. 2010. The New World of the Anthropocene. *Environmental Science and Technology*, 44: 2228-2231, <http://dx.doi.org/10.1021/es903118j>
- Zimbres, B. Q. C.; De Aquino, P. D. P. U.; Machado, R. B.; Silveira, L.; Jácomo, A. T. A.; Sollmann, R.; Tôrres, N. M.; Furtado, M. M. and Marinho-Filho, J. 2012. Range shifts under climate change and the role of protected areas for armadillos and anteaters. *Biological Conservation*, 152:53-61, <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2012.04.010>

Submetido em 09/10/2013

Aceito em 18/12/2013

APÊNDICES

Tabela S1 - Listagem alfabética dos estudos sobre modelagem preditiva de distribuição de espécies ameaçadas analisados na presente revisão (n=101) e suas respectivas áreas de estudo.

Table S1 – List (in alphabetical order) of studies on distribution predictive modeling of endangered species analyzed in this review (n=101) and their respective areas of study.

AUTORES	REGIÃO DE ESTUDO
1 Abba <i>et al.</i> (2012)	Argentina
2 Aguirre & Duivenvoorden (2010)	México
3 Anadón <i>et al.</i> (2012)	Norte da África
4 Arroyo <i>et al.</i> 2009	México
5 Attorre <i>et al.</i> (2011)	Arquipelago de Socatra, Oceano Índico
6 Ballesteros-Barrera <i>et al.</i> (2007)	Chihuahuan, Norte do México
7 Barbet-Massin & Jiguet (2011)	Corsica, França
8 Bateman <i>et al.</i> (2011)	Queensland, Nordeste da Austrália
9 Bateman <i>et al.</i> (2012)	Queensland, Nordeste da Austrália
10 Baumberger <i>et al.</i> (2012)	Pântanos costeiros, Noroeste da França
11 Blank & Blaustein (2012)	Monte Carmelo, Norte de Israel
12 Chefaoui <i>et al.</i> (2011)	Península Ibérica
13 Cianfrani <i>et al.</i> (2010)	Sul da Itália
14 Cianfrani <i>et al.</i> (2011)	Europa
15 Cleve <i>et al.</i> (2011)	Serra da Nevada na Califórnia, EUA
16 Conlisk <i>et al.</i> (2012)	São Diego e Los Angeles, Califórnia
17 Contreras <i>et al.</i> (2009)	Xochimilco, México
18 Convertino <i>et al.</i> (2011)	Noroeste e oeste da costa do Golfo, Flórida
19 Cord & Rodder (2011)	México
20 Crawford & Hoagland (2010)	Oklahoma, USA
21 Dias <i>et al.</i> (2011)	Mata Atlântica, Brasil
22 Domínguez-Domínguez <i>et al.</i> (2006)	México central
23 Early <i>et al.</i> (2008)	País de Gales, Reino Unido
24 Embert <i>et al.</i> (2011)	Bolívia
25 Engler <i>et al.</i> (2004)	Alpes Suíços
26 Estes <i>et al.</i> (2011)	Montanhas Aberdare, Kenya
27 Fouquet <i>et al.</i> (2010)	Sul da Nova Zelândia
28 Freile <i>et al.</i> (2010)	Andes, Ecuador
29 García-Rodrigues <i>et al.</i> (2012)	Costa Rica
30 Gaubert <i>et al.</i> (2006)	África Central
31 Gibson <i>et al.</i> (2007)	Sul da Austrália
32 Gibson <i>et al.</i> (2010)	Sudoeste da Austrália
33 Gogol-Procurat (2011)	Serra da Nevada na Califórnia,EUA
34 Gray <i>et al.</i> (2009)	Lago Tonle Sap, Cambodia
35 Guisan <i>et al.</i> (2006)	Alpes Suíços
36 Gutiérrez & Duivenvoorden (2010)	México
37 Habel <i>et al.</i> (2010)	Oeste da Europa
38 Hernandez <i>et al.</i> (2008)	Cordilheira dos Andes, Peru e Bolívia
39 Hu <i>et al.</i> 2010	Leste da Ásia
40 Hu & Jiang (2010)	Qinghai–Tibetan, China
41 Huerta <i>et al.</i> 2007	México central
42 Illoldi-Rangel <i>et al.</i> 2012	México
43 Irfan-Ullah <i>et al.</i> (2007)	Western Ghats, Península da Índia
44 Jackson & Robertson (2010)	Gauteng, North West, Mpumalanga e Limpopo, África do Sul
45 Jenks <i>et al.</i> 2012	Tailândia
46 Jiménez-Alfaro <i>et al.</i> (2012)	Cantabrian Range, Espanha
47 Jiménez-Valverde <i>et al.</i> 2008	Península Ibérica
48 Jiquet <i>et al.</i> 2010	Venezuela, Colômbia, Ecuador e Peru
49 Kuemmerle <i>et al.</i> (2010)	Montanhas de Carpathians , Europa
50 Kuemmerle <i>et al.</i> (2011)	Montanhas de Carpathians , Europa
51 Kuemmerle <i>et al.</i> 2012	Montanhas de Carpathians , Europa

Continua...

AUTORES	REGIÃO DE ESTUDO
52 Lassalle <i>et al.</i> (2008)	Europa, Norte da África e Oriente Médio
53 Liang & Stohlgren (2011)	Serra da Nevada na Califórnia, EUA
54 Loiselle <i>et al.</i> (2010)	Mata Atlântica, Brasil
55 Lomba <i>et al.</i> 2010	Rio Coura, Noroeste de Portugal e Península Ibérica
56 López-Toledo <i>et al.</i> (2011)	Sul e Oeste da costa do México
57 Louzao <i>et al.</i> 2012	Oeste do Mediterrâneo
58 Marini <i>et al.</i> (2009)a	Cerrado, Brasil
59 Marini <i>et al.</i> (2009)b	Cerrado, Brasil
60 Marini <i>et al.</i> (2010)a	Cerrado, Brasil
61 Marini <i>et al.</i> (2010)b	Rio Grande do Sul e Santa Catarina, Brasil
62 Marino <i>et al.</i> (2011)	América do Sul
63 Marin-Togo <i>et al.</i> (2011)	Leste de Tehuantepec, México
64 Martínez-Meyer <i>et al.</i> (2006)	Sul da Califórnia, EUA
65 Millar & Blouin-Demers (2012)	Ontario, Canada
66 Monterrubio-Rico <i>et al.</i> (2010)	Jalisco, Michoacan, Guerrero e Oaxaca, México
67 Morueta-Holme <i>et al.</i> (2010)	Norte da Península Ibérica
68 Murray <i>et al.</i> (2008)	Queensland, Austrália
69 Murray-Smith <i>et al.</i> (2009)	Mata Atlântica, Brasil
70 Nabout <i>et al.</i> (2010)	Cerrado, Brasil
71 Nóbrega & De Marco (2011)	Goiás e Brasília, Brasil
72 Ortiz-Martinez <i>et al.</i> (2008)	Oaxaca, México
73 Parra-Olea <i>et al.</i> (2005)	México Central
74 Peralvo <i>et al.</i> (2007)	Região do Pacífico Equatorial, América do Sul
75 Peterson & Robins (2003)	América do Norte
76 Powell <i>et al.</i> (2010)	Queensland, sudeste da Austrália
77 Qi <i>et al.</i> (2009)	Montanhas Liangshan, Sichuan, China
78 Qi <i>et al.</i> (2011)	Montanhas Liangshan, Sichuan, China
79 Queiroz <i>et al.</i> (2012)	Vale do Rio Branco, leste da Nevada, EUA
80 Razgour <i>et al.</i> (2011)	Devon e Ilha do Wight, Reino Unido
81 Rebelo <i>et al.</i> (2012)	Península Ibérica, Itália e Balcãs
82 Rödder <i>et al.</i> (2010)	Sudeste da Ásia
83 Rödder & Schulte (2010)	Península Ibérica
84 Rondinini <i>et al.</i> (2011)	Europa, América, África, Ásia e Oceania
85 Rupprecht <i>et al.</i> (2011)	Marrocos Central
86 Sánchez-Cordero <i>et al.</i> (2005)	México Central e Oriental
87 Scharg <i>et al.</i> (2010)	Montana, Wyoming, Dakota do Norte e Dakota do Sul, EUA
88 Souza <i>et al.</i> (2011)	Mata Atlântica, Brasil
89 Tanneberger <i>et al.</i> (2010)	Pomerania, Leste da Alemanha e Oeste da Polônia
90 Thomaes <i>et al.</i> (2008)	Bélgica, Europa
91 Thorn <i>et al.</i> (2009)	Borneo, Java e Sumatra, Sudeste da Ásia
92 Thuiller <i>et al.</i> (2006)	África Central
93 Tingley <i>et al.</i> (2010)	Nova Scotia, Canadá
94 Titeux <i>et al.</i> (2007)	Calestienne, Bélgica
95 Trisurat <i>et al.</i> (2011)	Península da Tailândia
96 Urbina-Cardona & Flores-Vilella (2010)	Sudeste do México
97 Vicente <i>et al.</i> (2011)	Braga e Península Ibérica
98 Williams-Tripp <i>et al.</i> (2012)	Espanha, Portugal, França e Andorra
99 Wilson <i>et al.</i> (2011)	Rios na Irlanda do Norte
100 Wilting <i>et al.</i> (2010)	Sudeste da Ásia
101 Zimbres <i>et al.</i> (2012)	América do Sul

Tabela S 2- Lista dos artigos selecionados que possuem resultado explícito sobre a variável mais importante para o modelo: N° (referente à Tabela S1), grupo taxonômico, escala espacial, estudos com multiescalas (Sim/Não), Resolução espacial (grão), Variável mais importante para o modelo, Tipos de variáveis utilizadas na análise.

Table S2 - List of selected papers with results about the most important variable of the model: N° (relating to Table S1), taxonomic group, spatial scale, studies with multiscale (Yes / No), spatial resolution (grain), most important variable in the model, types of variables used in the analysis.

N°	GRUPO TAXONÔMICO	ESCALA (EXTENSÃO GEOGRÁFICA)	MULTIESCALA	RESOLUÇÃO	VARIÁVEL MAIS IMPORTANTE PARA O MODELO (CARÁTER DA VARIÁVEL)	TIPOS DE VARIÁVEIS NA ANÁLISE (CARÁTER DA VARIÁVEL)
3	Répteis	Regional	Não	10X10km	Precipitação (contínua)	Climáticas (contínuas) Topográficas (contínuas)
5	Plantas	Paisagem	Não	100X100m	Tipo de solo (pseudo-contínua)	Climáticas (contínuas) Topográficas (contínuas) Cobertura do solo (pseudo-contínua)
7	Aves & Plantas	Paisagem	Não	100X100m	Temperatura (contínua)	Climáticas (contínuas)
8	Fungos	Regional	Não	250X250m	Temperatura (contínua)	Climáticas (contínuas)
9	Mamíferos	Regional	Não	250X250m	Temperatura (contínua)	Climáticas (contínuas) Topográficas (contínuas)
11	Anfíbios	Paisagem	Não	25X25m	Tipo de solo (Espécie 1) (categórica) Distância de áreas urbanas (Espécie 2) (contínua)	Topográficas (contínuas) Cobertura do solo (categórica) Indicadoras de Antropismo (contínuas)
13	Mamíferos	Paisagem	Não	2,5X2,5km	Cobertura de herbáceas (pseudo-contínua)	Topográficas (contínuas) Cobertura do solo (pseudo-contínua) Indicadoras de Antropismo (contínuas) Outras (categórica)
14	Mamíferos	Macrorregional/global	Não	10 X 10km	Precipitação (contínua)	Climáticas (contínuas) Topográficas (contínuas) Cobertura do solo (pseudo-contínua) Indicadoras de Antropismo (pseudo-contínuas/contínuas)
15	Mamíferos	Regional	Não	*	Precipitação (contínua)	Climáticas (contínuas) Topográficas (contínuas) Cobertura do solo (contínua)

Continua...

Nº	GRUPO TAXONÔMICO	ESCALA (EXTENSÃO GEOGRÁFICA)	MULTIESCALA	RESOLUÇÃO	VARIÁVEL MAIS IMPORTANTE PARA O MODELO (CARÁTER DA VARIÁVEL)	TIPOS DE VARIÁVEIS NA ANÁLISE (CARÁTER DA VARIÁVEL)
18	Aves	Paisagem	Não	120X120m	Uso do solo (pseudo-contínua)	Cobertura do solo (pseudo-contínuas) Indicadoras de Antropismo (pseudo-contínua)
19	Anfíbios	Regional	Não	1X1Km	Precipitação (contínua)	Climáticas (contínuas) Cobertura do solo (contínua)
20	Artrópodes	Regional	Não	60X60m	Precipitação (contínua)	Climáticas (contínuas) Topográficas (contínuas) Cobertura do solo (categóricas) Indicadoras de Antropismo (categóricas/pseudo-contínua)
21	Artrópodes	Macrorregional/global	Não	4,4X4,4km	Precipitação (contínua)	Climáticas (contínuas)
23	Artrópodes	Paisagem	Não	25X25m	Brejos (categórica)	Topográficas (contínuas) Cobertura do solo (categóricas)
26	Mamíferos	Paisagem	Não	1X1km	Índice de irregularidade do terreno (contínua)	Topográficas (contínuas) Cobertura do solo (contínuas)
27	Anfíbios	Macrorregional/global	Não	5X5km	Temperatura (contínua)	Climáticas (contínuas) Topográficas (contínuas) Indicadoras de Antropismo (pseudo-contínua)
31	Aves	Paisagem	Não	25X25m	Elevação (contínua)	Topográfica (contínuas) Cobertura do solo (pseudo-contínua)
32	Mamíferos	Macrorregional/global	Não	2,5X2,5km	Precipitação (contínua)	Climáticas (contínuas)
34	Aves	Paisagem	Não	1X1km	Pasto (contínua)	Cobertura do solo (categóricas) Indicadoras de Antropismo (contínua)
39	Aves	Macrorregional/global	Não	1X1km	Elevação (contínua)	Climáticas (contínua) Topográficas (contínua) Indicadoras de Antropismo (categórica/contínua)
40	Mamíferos	Macrorregional/global	Sim	1X1km 2X2km 4X4km 8X8km 16X16km 32X32km	Elevação (contínua) Elevação (contínua) Elevação (contínua) Elevação (contínua) Elevação (contínua) Elevação (contínua)	Climáticas (contínua) Topográficas (contínua) Indicadoras de Antropismo (categórica/contínua)

Continua...

Nº	GRUPO TAXONÔMICO	ESCALA (EXTENSÃO GEOGRÁFICA)	MULTIESCALA	RESOLUÇÃO	VARIÁVEL MAIS IMPORTANTE PARA O MODELO (CARÁTER DA VARIÁVEL)	TIPOS DE VARIÁVEIS NA ANÁLISE (CARÁTER DA VARIÁVEL)
45	Mamíferos	Regional	Não	1X1km	Presa (categórica)	Topográficas (contínua) Indicadoras de Antropismo (categórica) Outras (categórica)
46	Plantas	Paisagem	Sim	0,5X0,5km 1X1km 2X2km	Elevação (contínua) Elevação (contínua) Elevação (contínua)	Topográficas (contínua)
49	Mamíferos	Paisagem e Regional	Sim	30X30m 100X100m	Fragmentação florestal (categórica) Aspecto (contínua)	Indicadoras de Antropismo (categórica/contínua) Topográficas (contínua)
50	Mamíferos	Macrorregional/global	Não	500X500m	Uso do solo (pseudo-contínua)	Topográficas (contínua) Indicadoras de Antropismo (pseudo-contínua/contínua)
53	Anfíbios	Macrorregional/global	Não	30x30m	Declividade (contínua)	Climáticas (contínua) Topográficas (contínua) Cobertura do solo (categórica) Indicadoras de Antropismo (contínua)
57	Aves	Regional	Não	4X4km	Profundidade (contínua)	Aquáticas (contínuas)
59	Aves	Macrorregional	Não	100X100Km	Temperatura (contínua)	Climáticas (contínua)
60	Mamíferos	Macrorregional/global	Não	1X1Km	Elevação (contínua)	Climáticas (contínua) Topográficas (contínua)
65	Répteis	Macrorregional	Sim	250X250m 500X500m	Temperatura (contínua) Temperatura (contínua)	Climáticas (contínua) Indicadoras de Antropismo (pseudo-contínua/contínua)
67	Mamíferos	Macrorregional/global	Não	1X1km 10X10 Km	Temperatura (contínua)	Climáticas (contínua) Topográficas (contínua) Indicadoras de Antropismo (contínua)
68	Mamíferos	Local e Paisagem	Sim	500X500m 1X1km	Complexidade do habitat (categórica) Superfície geológica (categórica)	Topográficas (contínua) Cobertura do solo (categórica) Indicadoras de Antropismo (categórica)

Continua...

Nº	GRUPO TAXONÔMICO	ESCALA (EXTENSÃO GEOGRÁFICA)	MULTIESCALA	RESOLUÇÃO	VARIÁVEL MAIS IMPORTANTE PARA O MODELO (CARÁTER DA VARIÁVEL)	TIPOS DE VARIÁVEIS NA ANÁLISE (CARÁTER DA VARIÁVEL)
77	Mamíferos	Regional	Não	30X30m	Cobertura florestal (pseudo-contínua)	Topográficas (contínua) Indicadoras de Antropismo (pseudo-contínua/contínua)
78	Mamíferos	Paisagem	Não	30X30m	Cobertura florestal (pseudo-contínua)	Topográficas (contínua) Indicadoras de Antropismo (pseudo-contínua/contínua)
79	Plantas	Paisagem	Não	30X30m	Tipo de solo (categórica)	Topográficas (contínua) Cobertura do solo (categórica)
80	Mamíferos	Paisagem e Regional	Sim	100X100m 1X1km	Distância de pradarias (contínua) Temperatura (contínua)	Climáticas (contínua) Cobertura do solo (categórica) Indicadoras de Antropismo (contínua/categórica) Outras (contínua)
81	Mamíferos	Macrorregional/global	Não	55X55km	Temperatura (contínua)	Climáticas (contínua)
83	Répteis	Macrorregional/global	Não	10X10km	Precipitação (contínua)	Indicadoras de Antropismo (categórica)
85	Plantas	Regional	Não	1X1Km	Temperatura (contínua)	Climáticas (contínua)
87	Aves	Regional	Não	800X800m	Precipitação (contínua)	Climáticas (contínua)
89	Aves	Local	Não	1X1m	Distância de outro indivíduo da mesma espécie (contínua)	Cobertura do solo (categórica) Indicadoras de Antropismo (categórica) Outras (categórica/contínua)
90	Artrópodes	Regional	Não	5X5km	Área Urbana (contínua)	Climáticas (contínua) Topográficas (contínua) Indicadoras de Antropismo (contínua)
93	Répteis	Local	Não	10X10m	Cobertura de herbáceas (pseudo-contínua) - fêmeas Uso do solo (categórica) - machos	Topográficas (contínua) Cobertura do solo (pseudo-contínua/contínua) Indicadoras de Antropismo (categórica)
98	Mamíferos	Macrorregional/global	Não	8X8km	Precipitação (contínua)	Climáticas (contínua) Topográficas (contínua)
99	Moluscos	Local e Paisagem	Sim	250X250m 500X500m	Tipo de substrato (categórica) Elevação (contínua)	Topográficas (contínua) Indicadoras de Antropismo (categórica/pseudo-contínua) Outras (categórica)
100	Mamíferos	Macrorregional/global	Não	1X1Km	Distância de corpos d'água (contínua)	Climáticas (contínua) Topográficas (contínua) Cobertura do solo (contínua) Indicadoras de Antropismo (categórica)