



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA



Dissertação de Mestrado

*Atributos ecológicos de anuros neotropicais: o que podem predizer?*

RODRIGO BARBOSA FONTANA

Porto Alegre, março de 2018

*Atributos ecológicos de anuros neotropicais: O que podem predizer?*

Rodrigo Barbosa Fontana

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia, do Instituto de Biociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ecologia.

**Orientadora:** Profa. Dra. Sandra Maria Hartz

**Coorientadora:** Profa. Dra. Noeli Zanella – UPF

**Comissão Examinadora**

Prof. Dr. Alexandro Marques Tozetti – UNISINOS

Prof. Dr. Leandro da Silva Duarte – UFRGS

Profa. Dra. Sônia Terezinha Zanini Cechin – UFSM

Porto Alegre, março de 2018

## AGRADECIMENTOS

Esta caminhada não teria ocorrido ou seria muito mais difícil sem a ajuda e apoio de tantas pessoas. Dessa forma, aqui seguem os meus mais sinceros agradecimentos a todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para a conclusão desta etapa.

Ao CNPq pela concessão da bolsa;

Aos colegas, professores e funcionários do PPG Ecologia;

Aos colegas do Laboratório de Ecologia de Populações e Comunidades pela parceria, ajuda e conversas, especialmente à Lucilene e a Raíssa;

Aos meus amigos da graduação pelas trocas de ideias, discussões, reuniões (das quais muitas eu faltei) e ajuda no campo: Carol, Laís, Gabi, Pedro, Tobias, Suelen e Thay;

A todos estagiários, funcionários e alunos da UPF pela ajuda fundamental no campo;

À Prefeitura de Sertão e a família Pelizzaro por terem permitido a realização do trabalho nas áreas do PNMS e na matriz agrícola;

À banca pelo aceite do convite;

À minha coorientadora Noeli por toda a ajuda e ensinamentos transmitidos desde o início da minha graduação;

À minha orientadora Sandra pela acolhida, conversas, paciência e por todo o ensinamento transmitido;

À toda minha família por todo o apoio, carinho e amor desde sempre, em especial aos meus pais Clair e Valiana, irmãos Diego e Rafael e meus avós Mauro e Ione;

Muito obrigado!

## RESUMO

O risco de extinção e o declínio populacional de muitas espécies animais na região neotropical estão fortemente relacionados aos processos antrópicos, como a conversão ambiental, mas também aos fatores intrínsecos aos próprios indivíduos, como os atributos. Os anuros correspondem ao grupo vertebrado mais ameaçado atualmente, sofrendo com sérios declínios populacionais. Este trabalho buscou avaliar quais os atributos dos anfíbios neotropicais podem prever: i) as categorias de ameaça e tendências populacionais destas espécies e ii) a ocorrência de anuros em um ambiente modificado, de matriz agrícola. Para a predição de categorias de ameaça e tendências populacionais utilizamos um banco de dados com atributos de habitat e modos reprodutivos de 3196 espécies de anuros neotropicais. Verificamos que espécies com modos reprodutivos terrestres e desenvolvimento direto tem uma maior tendência a estarem em declínio. Além disso, verificamos que embora os atributos sejam filogeneticamente estruturados, o grau de ameaça parece ser independente de suas histórias evolutivas. Para identificar possíveis relações entre atributos ecológicos e morfológicos de anuros em uma paisagem agrícola no sul do Brasil, registramos a anurofauna com uso de armadilhas de interceptação e queda e procuras ativas em três diferentes distâncias da borda em um ambiente florestal e em uma matriz agrícola. Verificamos que principalmente os atributos ecológicos, como o modo reprodutivo (tanto terrestre como aquático) e o hábito estão relacionados com a ocorrência destas espécies no sistema agrícola, assim como encontramos diferenças entre os atributos morfológicos ao longo do gradiente de distância. Ambos os resultados podem auxiliar na tomada de decisões em planos e projetos de conservação de anuros neotropicais.

Palavras chave: anfíbios; modo reprodutivo; categorias de ameaça; declínio populacional; matriz agrícola.

## ABSTRACT

The extinction risk and population decline of many animal species in neotropical region are strongly related to anthropic processes, such as environmental conversion, but they are also related to intrinsic factors such as traits. Anurans correspond to the most endangered vertebrate group, suffering serious population declines. This work aimed to evaluate which neotropical anurans traits can predict: i) the categories of threat and population trends of species, and ii) the occurrence of anuran species in modified environments, such as the agricultural matrix. First, we compiled data to 3196 neotropical anuran species. We emphasized the importance of habitat and reproductive modes in threat classifications, as well as verified that species with terrestrial reproductive modes and direct development are more likely to be declining. We also found that although anurans traits being phylogenetically structured, the degree of threat seems to be independent from their evolutionary histories. In addition, to identify possible relation among ecological and morphological anuran traits with agricultural landscape in southern Brazil, we studied the anurofauna using pitfall traps and active searches at three different border distances in a forest environment and in an agricultural matrix. We verified that mostly of the ecological traits, such as the reproductive mode (both terrestrial and aquatic) and the habit, are related to the occurrence of determined species in the agricultural system. And we also found differences among the morphological traits observed through the distance gradient from the border. Therefore, both results present practical importance since it can help herpetologists to making decision about neotropical anurans conservation.

Keywords: amphibians; reproductive mode; threat categories; population decline; agricultural matrix.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	8
LISTA DE TABELAS .....	10
INTRODUÇÃO GERAL .....	11
Referências .....	14
<b>CAPÍTULO I – Relacionando atributos ao risco de extinção: análise de uma base de dados para anuros neotropicais .....</b>	<b>18</b>
Resumo .....	19
Abstract .....	19
Introdução .....	20
Material e métodos .....	23
<i>Banco de dados</i> .....	23
<i>Filogenia</i> .....	24
<i>Análises</i> .....	25
Resultados .....	26
Discussão .....	31
Referências .....	34
Material suplementar .....	43
<b>CAPÍTULO II – Atributos ecológicos de anuros em uma paisagem agrícola no sul do Brasil.....</b>	<b>48</b>
Resumo .....	49
Abstract .....	49
Introdução .....	50
Material e métodos .....	53

<i>Área de estudo</i> .....	53
<i>Amostragem da anurofauna</i> .....	53
<i>Coleta de atributos</i> .....	54
<i>Análise dos dados</i> .....	56
Resultados .....	58
<i>Riqueza de espécies</i> .....	58
<i>Atributos ecológicos e morfológicos</i> .....	60
Discussão .....	63
Referências .....	66
Material suplementar .....	76
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	78

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO I

**Figura 1** – Modos reprodutivos de anuros neotropicais em cada categoria de ameaça.....27

**Figura 2** – Análise de Correspondência Múltipla (MCA), realizada para examinar a associação entre os atributos, categorias de ameaça e tendências populacionais de anfíbios neotropicais; Dim. 1, primeiro componente principal; Dim. 2, segundo componente principal. Siglas em vermelho representam a forma de desenvolvimento: DD, direto e FL larval. Em amarelo endemismo de espécies: Endêmica para as espécies que ocorrem em apenas um tipo de habitat e Cosmopolita para espécies que ocorrem em mais de um habitat. Siglas em verde correspondem ao habitat de espécies endêmicas: AAlt, arbustais de altitude; ASec, arbustais secos; CAlt, campos de altitude; FSec, Florestas Secas; FUmM, Florestas Úmidas de Montana; RPer, riachos permanentes e Outros, outros tipos de habitat. Siglas em azul claro correspondem ao ambiente ou forma de deposição dos ovos: AT, ovos depositados em ambientes aquáticos e terrestres; AQ, ovos depositados em ambientes aquáticos; TE, ovos depositados em ambientes terrestres e RE, ovos retidos nos ovidutos. Siglas em azul correspondem às categorias de ameaça da IUCN: CR, criticamente em perigo; VU, vulnerável; EN, em perigo, NT, quase ameaçado e LC, pouco preocupante. Em rosa tendências populacionais: Declínio, populações em declínio; Estáveis, populações estáveis e Expansão, populações em expansão .....29

**Figura 3** – Análise de Correspondência (CA) para avaliar a relação entre fatores de ameaça e as tendências populacionais de anfíbios neotropicais. Triângulos vermelhos correspondem aos fatores: AAA, atividade de agricultura e aquicultura; URB, uso recurso biológico; MCL, mudanças climáticas; DRC, desenvolvimento residencial e comercial; PEM, produção de energia; GEO, eventos geológicos; IPH, intrusão e perturbação humana; EID, introdução de

espécies invasoras ou doenças; MSN, modificação de sistemas naturais; POL, poluição e SCT, serviços de transposição e corredores. Círculos em azul correspondem as tendências populacionais: Declínio, populações em declínio; Estável, populações estáveis e Expansão, populações em expansão.....30

## **CAPÍTULO II**

**Figura 1** - Número médio de espécimes coletados por mês ambiente a cada mês. A, mata nativa e B, lavoura .....60

**Figura 2** - Análise de componentes principais exibindo as relações entre diferentes atributos ecológicos e morfológicos de anuros com as unidades amostrais. LVL1, 50 metros da borda na lavoura; LVL2, 250 metros da borda na lavoura; LVL3, 450 metros da borda na lavoura; ML1, 50 metros da borda na mata; ML2, 250 metros da borda na mata; ML3, 450 metros da borda na mata .....62

**Figura 3** - Importância de cada atributo ecológico e morfológico para a ocorrência dos anfíbios na lavoura. Valores maiores correspondem a uma queda no valor de acurácia do modelo ao retirar o atributo em questão .....63

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO I

<b>Tabela 1</b> – Análises de variância multivariada por permutação (perMANOVA).....	28
<b>Tabela S1</b> - Tabela de atributos e respostas mensurados para 3096 espécies de anfíbios neotropicais.....	43

### CAPÍTULO II

<b>Tabela 1</b> – Atributos selecionados e mensurados para os espécimes de anuros registrados no município de Sertão, Rio Grande do Sul, Brasil.....	55
<b>Tabela 2</b> - Número de indivíduos de cada espécie coletados em cada ambiente no período de dezembro de 2016 a novembro de 2017, no município de Sertão, Rio Grande do Sul, Brasil.....	58
<b>Tabela 3</b> – Variação das medidas morfológicas de anfíbios entre diferentes ambientes e unidades amostrais .....	61
<b>Tabela 4</b> – Comparação das medidas morfológicas de anfíbios entre as diferentes unidades amostrais por Kruskal Wallis .....	61
<b>Tabela S1</b> - Matriz de correlação dos atributos morfológicos mensurados.....	76
<b>Tabela S2</b> - Atributos ecológicos das espécies registradas no período de dezembro de 2016 a novembro de 2017 no município de Sertão, Rio Grande do Sul, Brasil.....	76
<b>Tabela S3</b> – Diferenças entre atributos morfológicos entre unidades amostrais. <i>Post hoc</i> de Wilcoxon.....	77

## INTRODUÇÃO GERAL

Reduto de variados biomas e ecossistemas em virtude de sua complexa formação, a região neotropical é detentora de uma grande diversidade de espécies animais e vegetais, sendo considerada a região mais rica do planeta (Kier et al. 2005, Joly 2008, Antonelli & Sanmartín 2011, Brown 2014). Similarmente, situada no neotrópico a Mata Atlântica que originalmente possuía ampla extensão geográfica, hoje abriga centenas de espécies muitas das quais são endêmicas e estão ameaçadas de extinção, por isto é classificada como um dos *hotspots* mundiais para a conservação da biodiversidade (Guatara et al. 1996, Myers 2000, Tabarelli et al. 2005). No entanto com a crescente expansão da população humana a paisagem desta região vem sendo altamente modificada, dando lugar principalmente a ambientes agrícolas e urbanos (Lagos 2007).

Os processos de modificação de áreas naturais em áreas alteradas muitas vezes estão associados com a fragmentação, destruição, degradação e desconexão dos habitats. Além disso, o sinergismo dessas ações antrópicas, juntamente com a introdução de espécies exóticas e as mudanças climáticas estão levando muitas espécies a enfrentarem sérios declínios populacionais e conseqüentemente a uma elevação do risco de extinção (Brooks et al. 2002, Becker et al. 2007, Hayes et al. 2010). No entanto, fatores intrínsecos aos organismos também podem estar relacionados a esta crise da biodiversidade (Stuart 2008, Pearson et al. 2014).

Os fatores ecológicos e de história de vida intrínsecos aos organismos, também conhecidos como atributos, exercem importantes papéis sob o desempenho e o *fitness* dos indivíduos, bem como refletem suas respostas às condições ambientais (McGill et al. 2006, Podgaiski et al. 2011). Por possuírem diferentes atributos e requerimentos as espécies podem responder de maneiras distintas às ameaças, podendo ser prejudicadas ou até mesmo beneficiadas (Devictor et al. 2008, Newbold et al. 2014). Além disso, esses atributos podem ser essenciais na determinação do uso dos habitats antrópicos pelas espécies, assim como na

vulnerabilidade aos processos de fragmentação (Dixo & Metzger 2010). Estudos que vem buscando relacionar atributos de história de vida ao uso de diferentes tipos de habitats, respostas as alterações ambientais, bem como entender a relação destas características com o risco de extinção e declínio populacional já foram desenvolvidos para diferentes grupos de organismos (Davies et al. 2000, Purvis et al. 2000, Fréville et al. 2007, Lee & Jetz 2010, Hirshfeld & Röedel 2017).

Um dos grupos animais mais ameaçados, os anfíbios se destacam por possuir ampla distribuição global e alta diversidade de espécies, principalmente na região neotropical e Mata Atlântica onde correspondem a mais de 40% dos vertebrados endêmicos (Duellman & Trueb 1994, Pough et al. 1999, Haddad et al. 2013). Esta alta taxa de endemismo é associada a uma distribuição altamente restrita de muitas espécies (Duellman & Sweet 1999, Araújo et al. 2009). Assim como os demais vertebrados, os anuros estão propensos ao declínio e extinção local de espécies em consequência das ações antrópicas sobre seus habitats, bem como devido a suas características ecológicas particulares (Gibbs 1997, Peltzer & Lajmanovich 2001, Sodhi et al. 2008).

Os anfíbios são considerados modelos ideais para estudos ecológicos principalmente pelos diferentes atributos de história de vida que compartilham, tais como, ciclo de vida bifásico, baixa vagilidade em comparação com demais vertebrados, especificidade de habitat, ectotermia e certos requerimentos fisiológicos de muitas espécies (Blaustein et al. 1994, Wells 2007, Hopkins 2007). Outra característica especial do grupo é a alta diversidade de modos reprodutivos que possibilitam a reprodução e a ocorrência de espécies tanto em ambientes aquáticos como terrestres (Haddad et al. 2013).

Para alguns grupos de vertebrados, incluindo os anfíbios, o tamanho corporal, da área de distribuição e da prole são exemplos de características já bem estudadas e definidas como importantes *drivers* de ameaça e declínio (Purvis et al. 2000, Olden et al. 2007, Sodhi et al.,

2008). Além disso, a relação entre atributos ecológicos e reprodutivos associadas às alterações antrópicas, bem como mudanças morfológicas em resposta a estes processos já foram detalhados por alguns autores (Becker et al 2007, Steinicke et al. 2015, Hirshfeld & Rödell 2017). Neste sentido, ampliar o conhecimento sobre quais são as potenciais características capazes de prever o risco de ameaça, declínio populacional e ocorrência de indivíduos em ambientes antrópicos além das já conhecidas, pode fornecer um melhor panorama destas questões. Além disso, estas informações podem ser muito úteis para a preservação da biodiversidade, podendo assim auxiliar a direcionar e centralizar as estratégias de conservação dos anuros.

Desse modo, a presente dissertação está estruturada em dois capítulos que buscam responder como os atributos, aqui considerados como as características relacionadas aos modos reprodutivos, morfologia e ecologia estão relacionados com a ameaça e declínios de espécies de anuros neotropicais bem como quais atributos facilitam ou propiciam a ocorrência dos anfíbios em uma paisagem agrícola no sul do Brasil.

## **CAPÍTULO I**

### **Relacionando atributos ao risco de extinção: análise de uma base de dados para anuros neotropicais**

Neste capítulo com uma abordagem macroecológica e teórica, através de um banco de dados gerados com informações de atributos reprodutivos e de habitat de anfíbios neotropicais buscamos investigar as relações entre estes atributos com o risco de extinção e o declínio populacional destas espécies.

## **CAPÍTULO II**

### **Atributos ecológicos de anfíbios em uma paisagem agrícola no sul do Brasil**

Por sua vez, este capítulo possui uma escala local, onde buscamos compreender como atributos ecológicos e morfológicos estão relacionados a ocorrência de anfíbios em uma matriz agrícola no sul do Brasil.

Os dois manuscritos foram formatados seguindo as normas da revista *Biota Neotropica* para fins de padronização da dissertação.

## REFERÊNCIAS

- ANTONELLI, A. & SANMARTÍN, I. 2011. Why are there so many plant species in the Neotropics? *Taxon*. 60(2): 403–414.
- ARAÚJO, O.G.S.; TOLEDO, L.F.; GARCIA, P.C.A. & HADDAD, C.F.B. 2009. The amphibians of São Paulo State, Brazil amphibians of São Paulo. *Biota Neotrop*. 9(4):197-209.
- BECKER, C.G. FONSECA, C.R., HADDAD, C.F.B., BATISTA, R.F. & PRADO, P.I. 2007. Habitat Split and the Global Decline of Amphibians. *Science*. 318:1775-1777.
- BLAUSTEIN, A.R. 1994. Amphibian Declines: Judging Stability, Persistence, and Susceptibility of Populations to Local and Global Extinctions. *Conservation Biology*. 8(1):60-71.
- BROOKS, T.M, MITTERMEIER, R.A., MITTERMEIER, C.G., FONSECA, G.A.B., RYLANDS, A.B., KONSTANT, W.R., FLICK, P., PILGRIM, J., OLDFIELD, S., MAGIN, G. & HILTON-TAYLOR, C. 2002. Habitat Loss and Extinction in the Hotspots of Biodiversity. *Conservation Biology*. 16(4):909-923.
- BROWN, J.H. 2014. Why are there so many species in the tropics? *J. Biogeog*. 41: 8-22.
- DAVIES, K.F., MARGULES, C.R. & LAWRENCE, J.F. 2000. Which traits of species predict population declines in experimental forest fragments? *Ecology*. 81(5):1450-1461.
- DEVICTOR V., JULLIARD, R & JIGUET. 2008. Distribution of specialist and generalist species along spatial gradients of habitat disturbance and fragmentation. *Oikos*. 117:507-514.
- DIXO, M. & METZEGGER, J.P. 2010. The matrix-tolerance hypothesis: an empirical test with frogs in the Atlantic Forest. *Biodivers Conserv*. 19:3059-3071.

- DUELLMAN, W.E. & L. TRUEB. 1994. *Biology of Amphibians*. The Johns Hopkins University Press, Baltimore.
- DUELLMAN, W.E. & SWEET, S.S. 1999. Distribution patterns of amphibians in the Nearctic Region of North America. In: Duellman, W.E. (Ed). *Patterns of Distribution of Amphibians, A global Perspective*, Johns Hopkins University Press, Baltimore, p.31-111.
- FRÉVILLE, H., MCCONWAY, K., DODD, M. & SILVERTOWN J. 2007. Prediction of extinction in plants: Interaction of extrinsic threats and life history traits. *Ecology*. 88(10):2662-2672.
- GIBBS, J.P. 1997. Distribution of woodland amphibians along a forest fragmentation gradient. *Landscape Ecology*. 13:263-268.
- GUATURA, I.N, CORRÊA, F., COSTA, J.P.O. & AZEVEDO, P.U.E. 1996. A questão fundiária: roteiro para a solução dos problemas fundiários nas áreas protegidas da Mata Atlântica. Caderno 1. Série Conservação e Áreas Protegidas. Conselho Nacional da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica.
- HADDAD, C.F.B., TOLEDO, L.F., PRADO, C.P.A., LOEBMANA, D., GASPARINI, J.L. & SAZIMA, I. 2013. *Guia dos Anfíbios da Mata Atlântica: Diversidade e Biologia*. Anolis Books, São Paulo.
- HAYES, T.B., FALSO, P., GALLIPEAU & STICE, M. 2010. The cause of global amphibian declines: a developmental endocrinologist's perspective. *The Journal of Experimental Biology*. 213:921-933.
- HIRSCHFELD, M. & RÖEDEL, M.O. 2017. What makes a successful species? Traits facilitating survival in altered tropical forests. *BMC Ecol*. 17-25.
- HOPKINS, W.A. 2007. Amphibians as Model for Studying Environmental Change. *ILAR Journal*. 48(3):270-277.
- JOLY, C.A. 2008. Biodiversity and climate change in the Neotropical region. *Biota Neotrop*. 8(1): 1-2.

- KIER, G., MUTKE, J., DINERSTEIN, E., RICKETTS, T.H., KÜPFER, W., KREFT & H., BARTHLOTT, W. 2005. Global patterns of plant diversity and floristic knowledge. *J. Biogeog.* 32: 1107–1116.
- LAGOS, A. & MULLER, B.L. 2007. Hotspot Brasileiro Mata Atlântica. *Saúde e ambiente em revista.* 2:35-47.
- LEE, T.M. & JETZ, W. 2011. Unravelling the structure of species extinction risk for predictive conservation science. *Proc. R. Soc. B.* 278:1329-1338.
- MCGILL, B.J., ENQUIST, B.J., WEIHER, E. & WESTOBY, M. 2006. Rebuilding Community ecology from functional traits. *Trends in Ecology and Evolution.* 21(4): 178-185.
- MYERS, N., MITTERMEIER, R.A., MITTERMEIER, C.G., FONSECA, G.A.B. & KENT, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853-858.
- NEWBOLD, T., HUDSON, L.N., PHILLIPS, H.R.P., HILL, S.L.L., CONTU, S., LYSENKO, I., BLANDON, A., BUTCHART, S.H.M., BOOTH, H.L., DAY, J., DE PALMA, A., HARRISON, M.L.K., KIRKPATRICK, L., PYNEGAR, E., ROBINSON, A., SIMPSON, J. & MACE, G.M. 2014. A global model of the response of tropical and sub-tropical forest biodiversity to anthropogenic pressures. *Proc. R. Soc.* 281:1-10.
- OLDEN J.D., HOGAN, Z.S. & ZANDEN, J.V.M. 2007. Small fish, big fish, red fish, blue fish: size-biased extinction risk of the world's freshwater and marine fishes. *Global Ecol. Biogeogr.* 16:694-701.
- PEARSON, R.G., STANTON, J.C., SHOEMAKER, K.T., AIELLO-LAMMENS, M.E., ERSTS, P.J., HORNING, N., FORDHAM, D.A., RAXWORTHY, C.J., RYU, H.Y., MCNEES, J. & AKÇAKAYA, H.R. 2014. Life history and spatial traits predict extinction risk due to climate change. *Nature climate change.* 4:217-221.
- PELTZER, P.M. & LAJMANOVICH, R.C. 2001. Habitat fragmentation and amphibian species richness in riparian areas of the Parana River, Argentina. *Froglog.* 46:3-4.

- PODGAISKI, L.R., MENDONÇA, M.S. & PILLAR, V. 2011. O uso de atributos funcionais de invertebrados terrestres na ecologia: O que, como e por quê? *Oecologia Australis*. 15(4):835-853.
- POUGH, F.H., HEISER, J.B. & MCFARLAND, W.N. 1999. *A vida dos vertebrados*. Atheneu, São Paulo.
- PURVIS, A., GITTLEMAN, J.L., COWLISHAW, G. & MACE, G.M. 2000. Predicting extinction risk in declining species. *Proc. R. Soc. Lond. B*. 267:1947-1952.
- SODHI, N.S., BICKFORD, D., DIESMOS, A.C., LEE, T.M., KOH, L.P., BROOK, B.W., SEKERCIOGLU, C.H. & BRADSHAW, C.J.A. 2008. Measuring the Meltdown: Drivers of Global Amphibian Extinction and Decline. *PlosOne*.3(2):1-8.
- STEINICKE, H., GRUBER, B., GRIMM, A., GROSSE, W.R. & HENLE K. 2015. Morphological shifts in populations of generalist and specialist amphibians in response to fragmentation of the Brazilian Atlantic forest. *Nature Conservation*. 13:47-59.
- STUART, S., HOFFMANN, M., CHANSON, J. et al. (eds). 2008. *Threatened Amphibians of the World*. 1 ed. Lynx Edicions, Barcelona.
- TABARELLI, M., PINTO., L.P., SILVA., J.M.C., HIROTA, M.M. & BEDÊ, L.C. 2005. Desafios e oportunidades para a conservação da biodiversidade na Mata Atlântica brasileira. *Megadiversidade*. 1(1):132-138.
- WELLS, K.D. 2007. *The Ecology and Behavior of Amphibians*. The University Chicago Press, Londres.

## CAPÍTULO I

### **Relacionando atributos ao risco de extinção: análise de uma base de dados para anuros neotropicais**

Rodrigo Barbosa Fontana<sup>1\*</sup>; Raíssa Furtado<sup>1</sup>; Noeli Zanella<sup>2</sup> e Sandra Maria Hartz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-graduação em Ecologia, Instituto de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.

<sup>2</sup> Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, Brasil.

\*Autor para correspondência: rbf.fontana@gmail.com

Artigo a ser submetido na revista Biological Conservation

## **Resumo**

A região neotropical é detentora de grande parte da riqueza global de anfíbios anuros, grupo que vem enfrentando grandes declínios populacionais estando entre os vertebrados mais ameaçados. Anfíbios possuem distintas características de história de vida que podem ser relacionadas com seu declínio e categoria de ameaça. A partir de um banco de dados de 3196 espécies de anuros neotropicais, investigamos quais as características ou atributos ecológicos estão relacionados com as categorias de risco de extinção e tendência populacionais. Destacamos a importância do habitat e dos modos reprodutivos para estas classificações de ameaça. Espécies com modos reprodutivos terrestres e desenvolvimento direto tem uma maior tendência a estarem em declínio. Além disso, verificamos que embora os atributos sejam filogeneticamente estruturados, o grau de ameaça parece ser independente de suas histórias evolutivas. Estes resultados apresentam certa importância, uma vez que podem auxiliar nas políticas de conservação da anurofauna neotropical.

**Palavras-chave:** habitat; modos reprodutivos; declínio populacional; espécies ameaçadas.

## **Abstract**

The neotropical region refuges a large part of anuran richness, a group that has been facing large population declines and represented the most threatened vertebrates. Amphibians have distinct life history features that may be related to their decline and threat. Here, we compiled data to 3196 neotropical anuran species to investigate which ecological traits are related to extinction risk categories and population trends. We emphasized the importance of habitat and reproductive modes for these extinction risk classifications and we also indicated that species with terrestrial reproductive modes and direct development have a greater tendency to be in decline. In addition, although ecological and morphological anurans traits are

phylogenetically structured, we found that threats seem to be independent of their evolutionary histories. These findings are extremely important, since they can aid in the decision making and implementation of plans and projects for the conservation of the neotropical anurofauna.

**Keywords:** habitat; reproductive modes; population decline; threatened species.

## **Introdução**

A região neotropical é considerada a mais biodiversa a nível global (Antonelli & Sanmartín 2011, Brown 2014). Grande parte da biodiversidade encontrada nesta região se deve principalmente aos processos longos e complexos que a formaram, como períodos de isolamento, soerguimento de montanhas e mudanças nos sistemas hidrológicos (Simpson 1950, Joly 2008, Antonelli & Sanmartín 2011). Além disso, esses processos propiciaram a extensa variação ecológica dos biomas e ecossistemas que abrigam uma grande diversidade de espécies endêmicas da fauna e da flora (Graham 1997, Silva et al. 2004, Kier et al. 2005, Carrillo et al. 2015). A região neotropical vem sendo altamente impactada, resultando na ameaça de seus ecossistemas e da sua diversidade biológica (Groom 2005, Hoffmann et al. 2010, Berkunsky et al. 2017).

Não é novidade que a biodiversidade está em crise. A ideia de que estamos enfrentando a sexta grande extinção em massa já é bem discutida e aceita (Barnosky et al. 2011; Ceballos et al. 2015), sendo o sinergismo das ações antrópicas como, a conversão de habitat, introdução de espécies exóticas e as mudanças climáticas as principais forças motrizes para tal crise (Young et al. 2001, Beebee & Griffiths 2005, Becker et al. 2010, Hayes et al. 2010; Chaudhary et al. 2016). Dentre os animais, os anfíbios se destacam como sendo o grupo vertebrado mais ameaçado, em comparação com aves e mamíferos, os anfíbios apresentam o menor índice de manutenção de espécies, ou seja, uma maior perda de espécies ao longo dos

últimos anos (IUCN 2013). Padrão semelhante também é encontrado para a região neotropical a qual é a detentora da maior diversidade de espécies de anfíbios do mundo, mas também a mais ameaçada (Butchart et al. 2007 Chanson et al. 2008, Wake & Vredenburg 2008).

Anuros possuem a maior diversidade de espécies entre os anfíbios e uma ampla distribuição a nível global, com exceção de poucas regiões (Duellman & Trueb 1994, Pough et al. 1999, AmphibiaWeb 2013). No entanto, muitas espécies são endêmicas e com distribuição altamente restrita (Duellman & Sweet 1999, Araújo et al. 2009, IUCN 2016). Além disso, há uma tendência de aumento no número de espécies ameaçadas, visto que ainda há muitas espécies não avaliadas, pelo acelerado nível de conversão e perda de seus habitats, além de outros fatores, como as características de história de vida do grupo (Richards 2008, Stuart 2008, IUCN 2016).

Anfíbios possuem diferentes atributos de história de vida que fazem com que os mesmos sejam bons modelos para estudos ecológicos (Hopkins 2007), tais como, ciclo de vida bifásico, baixa vagilidade, especificidade de habitat, ectotermia e certos requerimentos fisiológicos de muitas espécies (Blaustein et al. 1994, Wells 2005). Outra característica dos anfíbios, que talvez seja uma das mais estudadas, complexas e interessantes são os modos reprodutivos. Apesar dos diferentes tipos, os modos reprodutivos são considerados a reunião de alguns atributos de história de vida, como o sítio e características da desova e dos girinos e a ausência ou presença de cuidado parental (Haddad & Prado 2005), além disso, a taxa e a duração do desenvolvimento e estágio e tamanho das larvas também podem ser levados em consideração (Salthe & Duellman 1973).

A grande diversidade de modos reprodutivos proposta por Duellman & Trueb (1986), e posteriormente revisada e ampliada por Haddad & Prado (2005), pode basicamente ser dividida em três grupos: (i) modos reprodutivos associados a espécies que ovipositam em ambientes aquáticos; (ii) modos reprodutivos associados a espécies que ovipositam em

ambientes terrestres e (iii) modos reprodutivos associados a espécies que retém seus ovos nos ovidutos. Apesar da forte relação destas características de história de vida com o ambiente e com o sucesso reprodutivo dos indivíduos, poucos estudos demonstraram o potencial dos modos reprodutivos em prever o grau de ameaça e o declínio populacional dos anuros, sendo utilizadas características isoladas (Lips et al. 2003, Sodhi et al. 2008).

Trabalhos que relacionem atributos de história de vida com o risco de extinção e declínio de espécies já foram desenvolvidos para diferentes grupos de plantas, invertebrados e vertebrados (Davies et al. 2000, Purvis et al. 2000, Freville et al. 2007, Lee & Jetz, 2010). Para alguns grupos de vertebrados, incluindo os anfíbios, o tamanho corporal, da área de distribuição e da prole são exemplos de características já bem estudadas e definidas como importantes *drivers* de ameaça e declínio (Purvis et al. 2000, Olden et al. 2007, Sodhi et al. 2008).

Conhecer quais são os potenciais atributos capazes de gerar estas previsões pode ser muito útil para a preservação da biodiversidade, podendo assim direcionar as estratégias de manejo e conservação para aquelas espécies com características mais ameaçadas. Desse modo, aqui analisamos uma base de dados de atributos de história de vida de anuros neotropicais e levantamos a seguinte questão: Seriam estes atributos capazes de prever as categorias de ameaça e as tendências populacionais de anuros no neotrópico? Como resposta nós esperamos encontrar que: I- atributos ecológicos em geral, tenham forte relação com as categorias de ameaça e as tendências populacionais de anuros neotropicais; II – modos reprodutivos apresentem uma forte influência na classificação das categorias de ameaça e tendências populacionais, uma vez que representam as condições ambientais; III – espécies com modos reprodutivos mais especializados sejam mais ameaçadas do que espécies com modos reprodutivos generalistas, devido ao requerimento de diferentes sítios reprodutivos; e

IV – tanto o risco de extinção quanto a tendência das populações sejam um reflexo do habitat em que estas espécies se encontram.

## **Material e métodos**

### *Banco de dados*

Para relacionar atributos com as categorias de ameaça e a tendência populacional de anuros neotropicais, criamos previamente uma base de dados com informações a respeito da biologia das espécies, reunindo os dados disponíveis na literatura específica. Inicialmente elencamos as espécies de anuros com ocorrência para a região neotropical através de inventários disponíveis na AmphibiaWeb (2016). Após, compilamos informações sobre atributos ecológicos destas espécies através de bases de dados, artigos científicos publicados e livros para as 3196 espécies de anfíbios. Para isso fizemos o uso de ferramentas de buscas como *Web of Science*, *Scopus* e *Google Scholar* utilizando os termos “*reproductive modes*”, “*amphibian ecological traits*”, “*amphibian life history traits*”, bem como utilizamos outras bases de dados (AmphibiaWeb 2016, Frost 2016, IUCN 2016).

Foram considerados como atributos dos anuros neotropicais as seguintes características: Modo reprodutivo (39 modos, Haddad & Prado 2005); tamanho corporal (médio para a espécie, caso não disponível foram utilizados valores máximos) e habitat (64 tipos, IUCN). Adicionalmente, para avaliar se uma única característica do modo reprodutivo seria uma melhor preditora do que a reunião de todas, nós também analisamos as seguintes características isoladamente: ambiente de deposição dos ovos (aquático ou terrestre), forma de nutrição do girino (exotrófico; endotrófico; nutrição fornecida pelo vitelo; nutrição fornecida por secreção ou sem a fase de girino) e o tipo de desenvolvimento (desenvolvimento com fase larval ou desenvolvimento direto). Também consideramos o endemismo de espécies como um

atributo, para isso as espécies foram consideradas como endêmicas quando ocorriam em apenas um dos habitats avaliados.

Os atributos foram relacionados com as diferentes respostas apresentadas pelos anfíbios nas categorias de ameaça (extinta – EX, extinta na natureza – EW, criticamente em perigo – CR, vulnerável – VU, quase ameaçada – EN, pouco preocupante – LC, dados deficientes – DD e não avaliada – NE, IUCN 2016); tendências populacionais (em declínio, estável e em expansão, IUCN 2016) e fatores de ameaça (motivos associados a ameaça das espécies, 11 categorias, IUCN 2016). A descrição de cada atributo, subcategorias, bem como as respostas são detalhadas no Material Suplementar (Tabela S1). O presente banco de dados será futuramente publicado a parte.

Apesar do esforço na compilação dos dados, muitas espécies permaneceram com dados faltantes. Para parte das espécies conseguimos inferir estas informações assumindo que espécies próximas (congêneres) possuem os mesmos atributos, desde que estes sejam consistentes nos clados (Jiménez-Robles et al. 2017). Entretanto, além das espécies com informações faltantes e que não puderam ser inferidas, espécies classificadas como Dados Deficientes (DD), Não Avaliadas (NE) pela IUCN e com tendência populacional desconhecida foram removidas previamente as análises, desse modo o banco de dados disponível considerou 2086 espécies.

### *Filogenia*

Como espécies não são unidades independentes, visto que compartilham histórias evolutivas e que os atributos são em parte um resultado destas relações entre as espécies (Bello et al., 2010; Felsenstein, 1985), incorporamos estas relações como uma covariável nas nossas análises. Assim, uma filogenia correspondente ao nosso pool de espécies foi criada, a partir da filogenia proposta por Pyron (2014), que é até então a árvore filogenética mais

completa para o grupo, contendo 3309 espécies de anfíbios. Entretanto, nem todas as espécies do nosso *pool* eram compreendidas pela filogenia proposta (973 espécies de 3196 espécies do nosso banco de dados), fazendo-se necessária a edição da árvore filogenética. A inserção das espécies (*Phylogenetic Uncertain Taxa*, PUT) foi realizada através do *software Phylogenetic Analysis in Macroecology* (PAM versão 0.9 beta, Rangel et al. 2015). Para isso, buscamos informações biológicas disponíveis em bancos de dados e artigos científicos publicados para a indicação de qual o ponto de inserção de cada PUT (*Most Derived Clade Consensus*, MDCC; Martins et al. 2013). Com o intuito de evitar possíveis vieses, simulamos 1000 permutações para cada inserção realizada.

Posteriormente, para estimar a idade dos novos ramos adicionados à filogenia, utilizamos a função “chronos” do pacote {ape} (Paradis et al. 2004) no ambiente R (R Core Team 2017). Esta datação dos novos ramos é baseada no método *Penalized Likelihood and Maximum Likelihood* (Sanderson 2002, Kim e Sanderson 2008, Paradis, 2013), que estima a idade dos ramos inseridos a partir de um valor baseado na média dos comprimentos dos ramos já existentes. Por fim, realizamos o corte da filogenia para que a mesma correspondesse ao *pool* de espécies da base de dados.

### *Análises*

Foram criadas três matrizes de dados a partir do nosso banco de informações de anfíbios neotropicais previamente gerado: I - uma matriz de espécies/atributos (**B**, dados mistos), considerada a matriz contendo nossas variáveis preditoras (atributos mensurados); II - uma matriz de espécies/categoria de ameaça (**R1**, dados binários) e III- uma matriz de espécies/tendência populacional (**R2**, dados binários), ambas consideradas matrizes contendo variáveis de resposta. Em seguida **R1** e **R2** foram transformadas em matrizes de dissimilaridade **S1** e **S2**, utilizando o coeficiente de Jaccard.

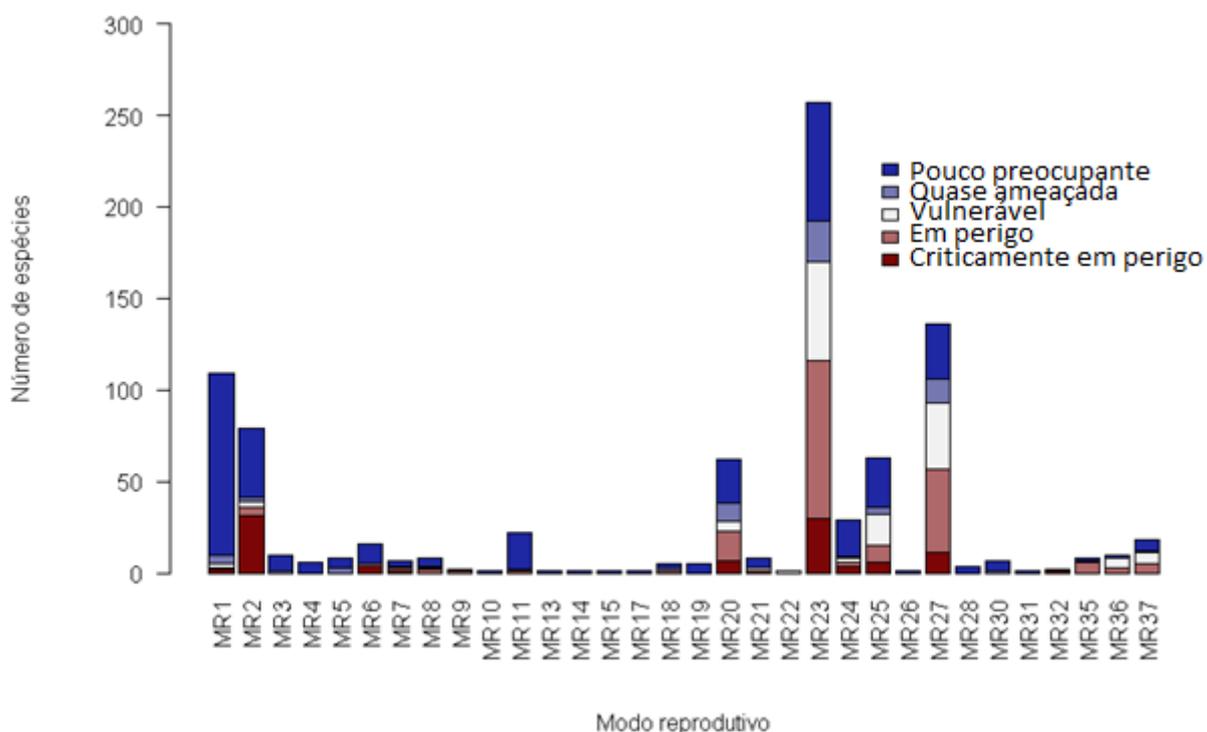
Adicionalmente, calculamos uma matriz de distâncias filogenéticas (**P**) a partir da filogenia previamente manipulada. Para análises posteriores, nós extraímos os autovetores filogenéticos a partir de uma Análise de Coordenadas Principais (PCoA) seguida por uma seleção não sequencial de autovetores filogenéticos (Diniz-Filho et al. 2011, Debastiani em preparação) os quais foram utilizados como proxy da filogenia.

Finalmente para testar nossas hipóteses de que ameaça e as tendências populacionais de anuros neotropicais podem ser preditos pelos atributos ecológicos, nós realizamos análises de variância multivariada por permutação (perMANOVA, Anderson 2001) utilizando a função “adonis” do pacote {vegan} no ambiente R (Oksanen 2017; R Core Team 2017). Realizamos uma perMANOVA com interação entre todos os atributos mensurados e a filogenia (autovetores filogenéticos) e, posteriormente, empregamos uma perMANOVA para cada atributo separadamente. Os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) obtidos nas perMANOVA foram utilizados para quantificarmos a variação das variáveis de resposta (categorias de ameaça e tendências populacionais) em função das variáveis preditoras (atributos), sendo então considerada a nossa medida de predição. Como algumas espécies foram excluídas das análises pela falta de informações cada perMANOVA foi gerada com um número variável de espécies. Por fim, realizamos análises de ordenação para uma visualização gráfica da relação e da distribuição dos atributos dentro das categorias de ameaça e tendências populacionais (Análise de Correspondência Múltipla, MCA e Análise de Correspondência, CA).

## **Resultados**

Ao relacionar o grau de ameaça com todos os atributos ecológicos mensurados, observamos que a história evolutiva (filogenia) das espécies foi responsável por explicar uma parte muito pequena da variação encontrada nas categorias de risco de extinção ( $F = 2,40$ ,  $R^2 = 0,002$ ,  $p = 0,054$ ). No entanto, os atributos, em conjunto, foram capazes de explicar grande

parte desta variação ( $F = 3,82$ ,  $R^2 = 0,37$ ,  $p = < 0,05$ ). Ao analisarmos separadamente cada atributo, verificamos que o habitat e os modos reprodutivos são as características que melhor predizem as categorias de risco de extinção dos anuros neotropicais ( $F = 7,48$ ,  $R^2 = 0,19$ ,  $p = < 0,05$ ; e  $F = 47,96$ ,  $R^2 = 0,17$ ,  $p = < 0,05$ , respectivamente) e grande parte das espécies ameaçadas compartilha modos reprodutivos de desenvolvimento direto, modos 23 e 27 (Figura 1).



**Figura 1** – Modos reprodutivos de anuros neotropicais em cada categoria de ameaça. MR, modo reprodutivo.

Para as análises referentes às tendências populacionais, verificamos que os atributos em geral conseguem prever 41% da variação dos dados ( $n = 614$ ,  $F = 3,90$ ,  $R^2 = 0,41$ ,  $p = < 0,05$ ). Dentre os atributos, o tipo de habitat foi o atributo que melhor explicou as tendências populacionais observadas nas espécies ( $F = 11,30$ ,  $R^2 = 0,29$ ,  $p = < 0,05$ ), seguido pelos modos reprodutivos ( $F = 8,58$ ,  $R^2 = 0,18$ ,  $p = < 0,05$ ) e fatores de ameaça ( $F = 23,68$ ,  $R^2 = 0,16$ ,  $p = < 0,05$ , tabela 1).

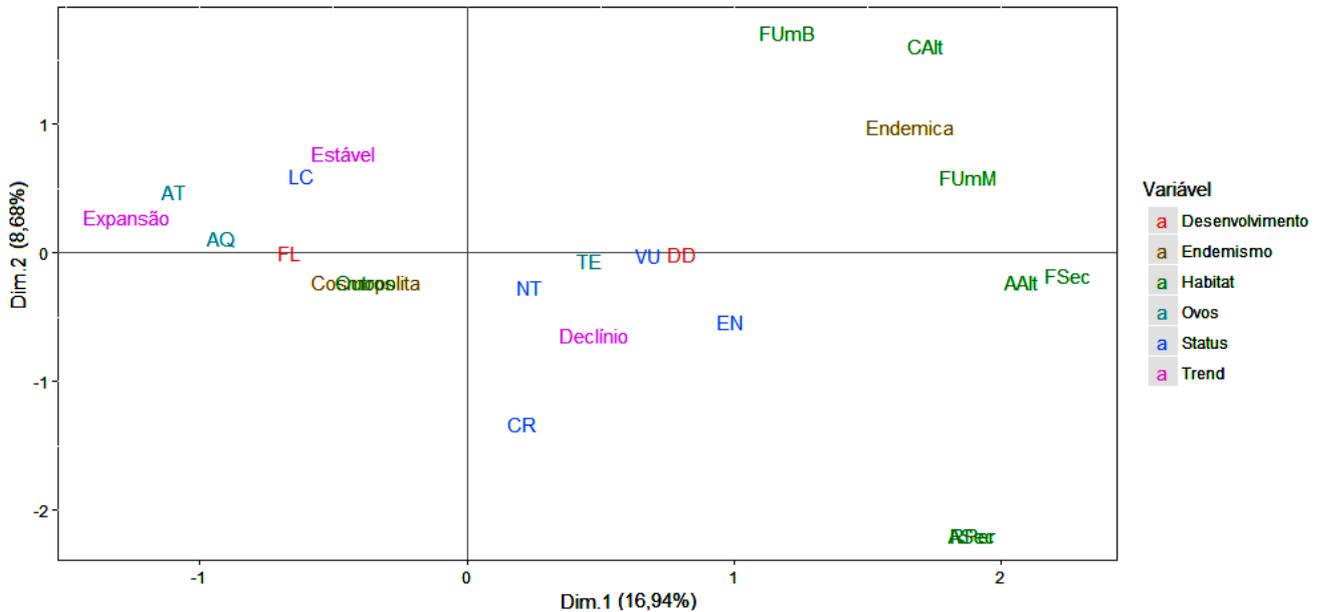
**Tabela 1** – Resultados das análises de variância multivariada por permutação (perMANOVA) para categorias de ameaça e tendências populacionais

Atributo	n	F	R <sup>2</sup>	P
Todos atributos				
Cat.Ameaça	722	3,822	0,373	0,001
Tend.Populacionais	614	3,909	0,411	0,001
Modos Reprodutivos				
Cat.Ameaça	1385	7,961	0,175	0,001
Tend.Populacionais	1385	8,589	0,187	0,001
Ovos				
Cat. Ameaça	1948	31,845	0,032	0,001
Tend.Populacionais	1654	10,665	0,013	0,001
Nutrição do girino				
Cat.Ameaça	1630	24,298	0,056	0,001
Tend.Populacionais	1376	12,088	0,034	0,001
Tamanho corporal				
Cat. Ameaça	1340	4,188	0,003	0,007
Tend.Populacionais	1133	1,537	0,001	0,218
Habitat				
Cat. Ameaça	2082	7,486	0,189	0,001
Tend.Populacionais	1754	11,306	0,298	0,001
Endemismo				
Cat. Ameaça	2082	35,873	0,017	0,001
Tend.Populacionais	1754	25,052	0,014	0,001
Fator de ameaça				
Cat. Ameaça	1651	14,427	0,088	0,001
Tend.Populacionais	1381	23,685	0,160	0,001

Cat.Ameaça – Categorias de ameaça, Tend.Populacionais – Tendências populacionais, n corresponde ao número de espécies avaliadas em cada análise.

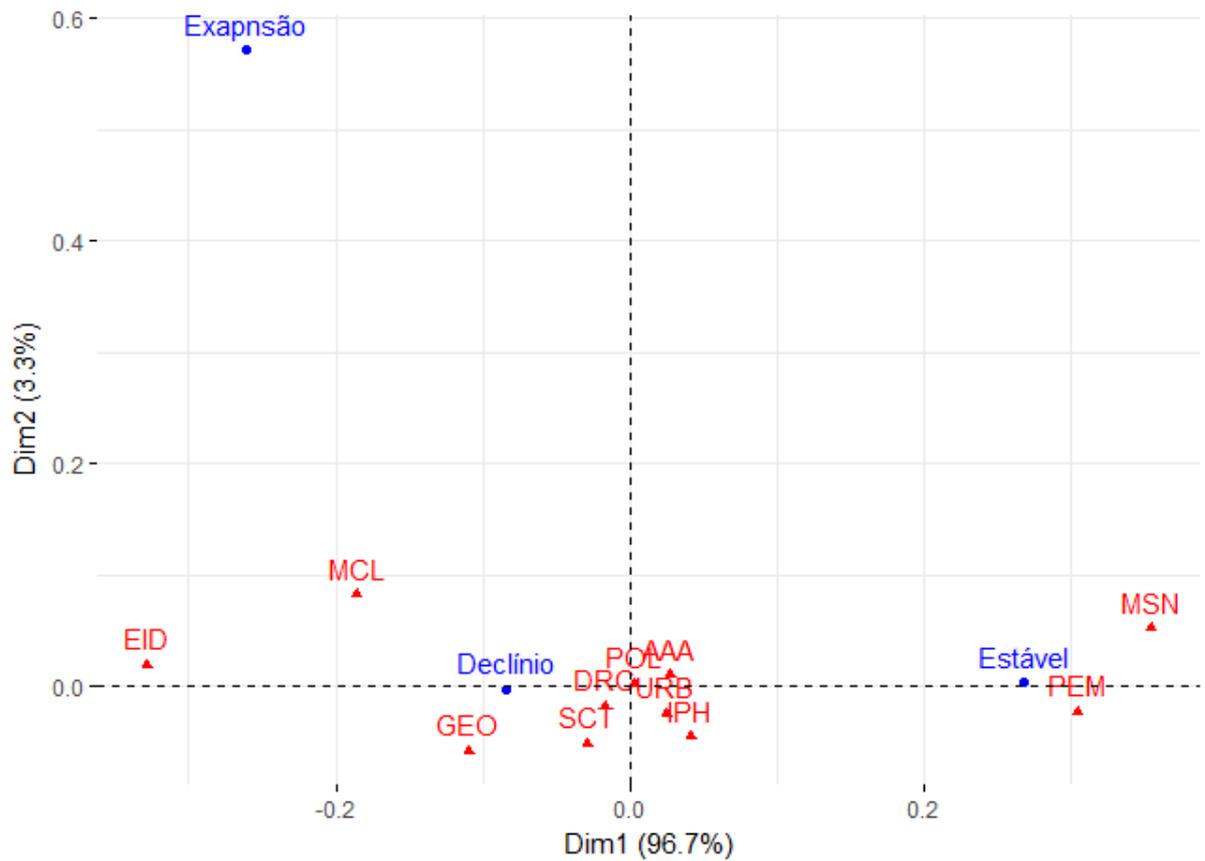
Através das ordenações dos dados, podemos verificar que espécies endêmicas com reprodução terrestre e desenvolvimento direto são mais associadas com as categorias mais ameaçadas de extinção e com o declínio populacional (Figura 2). Enquanto espécies que apresentam reprodução aquática estão mais associadas com a categoria de ameaça Pouco Preocupante (LC) e suas populações tendem a ser mais estáveis ao longo do tempo. Além disso, a ordenação dos fatores de ameaça evidencia a alta associação entre espécies em

declínio com a maioria dos fatores de ameaça, enquanto apenas a modificação de habitat e a produção de energia estariam mais associadas a estabilidade das populações (Figura 3).



**Figura 2** – Análise de Correspondência Múltipla (MCA), realizada para examinar a associação entre os atributos, categorias de ameaça e tendências populacionais de anfíbios neotropicais; Dim. 1, primeiro componente principal; Dim. 2, segundo componente principal. Siglas em vermelho representam a forma de desenvolvimento: DD, direto e FL larval. Em amarelo endemismo de espécies: Endêmica para as espécies que ocorrem em apenas um tipo de habitat e Cosmopolita para espécies que ocorrem em mais de um habitat. Siglas em verde correspondem ao habitat de espécies endêmicas: AAlt, arbustais de altitude; ASec, arbustais secos; CAlt, campos de altitude; FSec, Florestas Secas; FUmM, Florestas Úmidas de Montana; RPer, riachos permanentes e Outros, outros tipos de habitat. Siglas em azul claro correspondem ao ambiente ou forma de deposição dos ovos: AT, ovos depositados em ambientes aquáticos e terrestres; AQ, ovos depositados em ambientes aquáticos; TE, ovos depositados em ambientes terrestres e RE, ovos retidos nos ovidutos. Siglas em azul correspondem às categorias de ameaça da IUCN: CR, criticamente em perigo; VU,

vulnerável; EN, em perigo, NT, quase ameaçado e LC, pouco preocupante. Em rosa tendências populacionais: Declínio, populações em declínio; Estáveis, populações estáveis e Expansão, populações em expansão.



**Figura 3** – Análise de Correspondência (CA) para avaliar a relação entre fatores de ameaça e as tendências populacionais de anfíbios neotropicais. Triângulos vermelhos correspondem aos fatores: AAA, atividade de agricultura e aquicultura; URB, uso recurso biológico; MCL, mudanças climáticas; DRC, desenvolvimento residencial e comercial; PEM, produção de energia; GEO, eventos geológicos; IPH, intrusão e perturbação humana; EID, introdução de espécies invasoras ou doenças; MSN, modificação de sistemas naturais; POL, poluição e SCT, serviços de transposição e corredores. Círculos em azul correspondem as tendências

populacionais: Declínio, populações em declínio; Estável, populações estáveis e Expansão, populações em expansão.

## **Discussão**

Apesar do maior risco de extinção e de declínio populacional não ser bem distribuído por entre os diferentes gêneros de anuros (Greenberg & Mooers, 2017), a fraca evidência do papel das histórias evolutivas das espécies de anuros neotropicais na determinação do risco de extinção se assemelha ao encontrado para os anfíbios como um todo (Bielby et al. 2006, Sodhi et al. 2008). Este resultado suporta a ideia de que, embora os atributos ecológicos estejam fortemente relacionados com o grau de parentesco entre as espécies de anuros (Jiménez-Robles et al. 2017), as mesmas parecem estar ameaçadas independentemente de suas histórias evolutivas (Hero et al. 2005).

Embora o tamanho corporal já tenha sido reportado como um considerável preditor de ameaça e relacionado ao declínio para populações de outros vertebrados, incluindo anuros (Cardillo & Bromham 2001, Lips et al. 2003, Ripple et al. 2017), no nosso estudo, este atributo explicou muito pouco o risco de ameaça e declínio de anfíbios neotropicais. Nossos resultados indicam um efeito não direto do tamanho corporal no risco de ameaça destas espécies, que pode ser um reflexo de padrões regionais. Desse modo, possivelmente dentre os atributos aqui mensurados o tamanho corporal não seja tão eficiente na predição do risco de ameaça e declínio populacional de anfíbios neotropicais, padrão diferente do que é descrito para outros grupos, como aves e peixes marinhos, onde o tamanho corporal (ou massa) frequentemente é relacionado ao risco de extinção (Gaston & Blackburn 1995; Olden et al. 2007), embora influências geográficas também sejam discutidas (Fritz et al. 2009).

Nossos resultados demonstram que os atributos exercem um importante papel na classificação das categorias de ameaça e tendência populacional dos anfíbios neotropicais,

sendo o habitat a principal característica ecológica relacionada às espécies ameaçadas e em declínio. Ribeiro et al (2016) encontraram uma forte relação do tipo de habitat com a vulnerabilidade e a tendência populacional de declínio para anfíbios do cerrado brasileiro. O caso de o habitat ter sido o atributo que mais explicou a variação dos graus de ameaça e tendências populacionais entre os anuros neotropicais pode ser corroborado pelo fato de a fragmentação, a degradação e a desconexão do mesmo estarem entre as principais causas de redução da biodiversidade (Beebee & Griffiths, 2005, Becker et al. 2007, Brooks et al. 2002).

O alto grau de especialização de habitat também já foi reportado como um importante preditor de declínio populacional para parte dos anfíbios da mata atlântica (Williams & Hero 1998). Em nossos resultados encontramos uma relação entre espécies endêmicas, declínio populacional e categorias de ameaça. Além disso, muitas das espécies endêmicas que habitam áreas de altitude são ameaçadas principalmente pelas mudanças climáticas, uma vez que as oscilações térmicas e de umidade interferem diretamente na fisiologia reprodutiva, resistência a patógenos e dinâmicas populacionais dos organismos, além da falta de habitats secundários para onde poderiam se deslocar (Walther et al. 2002, Raffel et al. 2012, Elsen & Tingley 2015, Bradley et al. 2017)

A tendência de associação, neste estudo entre espécies de anuros neotropicais que ocorrem em áreas mais elevadas, como os campos e arbustais de altitude e as florestas de montanha, com as categorias mais ameaçadas, coincide com a encontrada para anfíbios de diferentes regiões, como Austrália, América Central, Madagascar e também em nível global, bem como para aves (Lips et al. 2003, Gage et al. 2004, Hero & Morrison 2004, Stuart et al. 2004, Andreone et al. 2005, Pimm 2006). Espécies de anuros que habitam áreas de alta altitude tendem a possuir temporadas reprodutivas, número de desovas e taxas de desenvolvimento e crescimento menores, enquanto o tamanho corporal e dos ovos tendem a ser maiores (Morrison & Hero 2003). Estas características vêm sendo fortemente associadas

com o aumento no declínio populacional e no risco de extinção das espécies (Hero et al. 2005, Ribeiro et al. 2016).

Como esperado, os modos reprodutivos também tiveram forte influência na determinação das categorias de ameaça e da tendência populacional. Nossos resultados indicam que espécies com desenvolvimento direto estão mais sujeitas ao declínio e às ameaças. Embora seja conhecido que espécies de anfíbios do leste australiano (Hero et al. 2005) e em escala global (Sodhi et al. 2008) que possuem desenvolvimento direto apresentaram uma menor probabilidade de declínio populacional do que as espécies ovovivíparas. Estas divergências observadas podem ser um reflexo da alta diversidade de espécies que compartilham este tipo de desenvolvimento na região neotropical (nosso *pool* de espécies). Além disso, espécies com desenvolvimento direto são menos resistentes do que anfíbios com larvas aquáticas a infecções de *Batrachochytrium dendrobatidis* (Mesquita et al. 2017), um fungo já relacionado com o declínio populacional de diversas espécies de anfíbios (Berger et al. 1998, LaMarca et al. 2005, Lips et al. 2006). Assim como anfíbios de altitude, anfíbios com desenvolvimento direto também tendem a possuir ninhadas contendo menor número de ovos e de maiores tamanhos, características que estão relacionadas ao aumento do risco de extinção (Hero et al. 2005, Wells 2007). Também verificamos que muitas das espécies com modos reprodutivos de desenvolvimento direto pertencem a famílias altamente ameaçadas como é o caso dos craugastorídeos e eleuterodactilídeos (IUCN 2017).

No entanto, os anuros neotropicais não são somente ameaçados por fatores intrínsecos (atributos), mas também por fatores externos, como ameaças que foram responsáveis por explicar uma parte considerável das tendências populacionais das espécies analisadas, estes fatores podem variar desde agricultura, desenvolvimento residencial e industrial até mesmo produção de energia e eventos geológicos. Além disso, a predisposição de relação entre múltiplos fatores de ameaça com o declínio populacional de anuros neotropicais revelada nos

nossos resultados corrobora outros estudos (Stuart et al. 2004, Beebee & Griffiths 2005, Bishop et al. 2012). Assim sendo, muito provavelmente o sinergismo entre os diferentes fatores de ameaça possa ser capaz de ajudar a explicar o declínio e a ameaça dos anuros de uma melhor maneira do que o uso destes fatores isoladamente (Hayes et al. 2010).

Nosso estudo revela a importância da relação entre atributos ecológicos e a classificação de ameaça e tendência populacional de anuros neotropicais, destacando a importância do habitat e dos modos reprodutivos. A interação entre as características que compõe os modos reprodutivos parece ser muito mais explicativa em conjunto do que separadamente. Nossos resultados também indicam que espécies neotropicais com modos reprodutivos terrestres e desenvolvimento direto, além de habitarem principalmente ambientes de altitude apresentam uma maior tendência a serem mais ameaçadas em comparação a espécies com modos reprodutivos aquáticos, como é o caso de muitas espécies das famílias Craugastoridae e Eleutherodactylidae. Estes dados são de extrema importância, uma vez que nos revelam um novo olhar sobre espécies que possuem desenvolvimento terrestre, além de poder auxiliar na tomada de decisões de planos e projetos para a conservação da anurofauna neotropical.

## **Referências**

- AMPHIBIAWEB. 2016. AmphibiaWeb. Disponível em: <https://amphibiaweb.org>. University of California, Berkeley.
- ANDERSON, M.J., 2001. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecology*. 26:32-46.
- ANDREONE, F., CADLE, J.E., COX, N., GLAW, F., NUSSBAUM, R.A., RAXWORTHY, C.J., STUART, S.N., VALLAN, D. & VENCES, M. 2005. Species Review of Amphibians Extinction

- Risks in Madagascar: Conclusions from the Global Amphibian Assessment. *Conservation Biology*. 19:1790-1802.
- ANTONELLI, A. & SANMARTÍN, I. 2010. Why there so many plant species in the Neotropics? *Taxon*. 60:403-414.
- ARAÚJO, O.G.S., TOLEDO, L.F., GARCIA, P.C.A. & HADDAD C.F.B. 2009. The amphibians of São Paulo State, Brazil amphibians of São Paulo. *Biota Neotropica*. 9:197-209.
- BARNOSKY, A.D., MATZKE, N., TOMIYA S., WOGAN, G.O.U, SWARTZ, B., QUENTAL, T.B., MARSHALL, C., MCGUIRE, J.L., LINDSEY, E.L., MAGUIRE, K.C., MERSEY, B. & FERRER, E.A. 2011. Has the Earth's sixth mass extinction already arrived? *Nature*. 471: 51-57.
- BECKER, C.G., FONSECA, C.R., HADDAD, C.F.B., BATISTA, R.F. & PRADO, P.I. 2007. Habitat Split and the Global Decline of Amphibians. *Science*. 318:1775-1777.
- BECKER, G.C., FONSECA, C.R, HADDAD & C.F.B, PRADO, P.I. 2010. Habitat Split as a Cause of Local Population Declines of Amphibians with Aquatic Larvae. *Conservation Biology*. 24:287-294.
- BEEBEE, T.J.C. & GRIFFITHS, R.A. 2005. The Amphibian decline crisis: A watershed for conservation biology? *Biological Conservation*. 125:271-285.
- BELLO, F., LAVOREL, S., DÍAZ, S., HARRINGTON, R., CORNELISSEN, J.H.C., BARDGETT, R.D., BERG, M.P., CIPRIOTTI, P., FELD, C.K., HERING, D., SILVA, P.M., POTTS, S.G., SANDIN, L., SOUSA, J.P., STORKEY, J., WARDLE, D.A. & HARRISON, P.A. 2010. Towards an assessment of multiple ecosystem processes and services via functional traits. *Biodiver Conserv*. 19:2873-2893.
- BERGER, L., SPEARE, R., DASZAK, P., GREEN, D.E., CUNNINGHAM, A.A., GOGGIN, L., SLOCOMBE, R., RAGAN, M.A., HYATT, A.D., MCDONALD, K.R., HINES, H.B., LIPS, K.R., MARANTELLI, G. & PARKES, H. 1998. Chytridiomycosis causes Amphibian mortality

- associated with population declines in the rain forests of Australia and Central America. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 95:9031-9036.
- BERKUNSKY, I. et al. 2017. Current threats faced by Neotropical parrot populations. Biological Conservation. 214:278-287.
- BIELBY, J., CUNNINGHAM, A.A. & PURVIS, A. 2006. Taxonomic selectivity in amphibians: ignorance, geography or biology? Animal Conservation. 9:135-143.
- BISHOP, P.J., ÂNGULO, A., LEWIS, J.P., MOORE, R.D., RABB, G.B. & MORENO, J.G. 2012. The Amphibians Extinction Crisis – what will it take to put the action into Amphibian Conservation Action Plan? Sapiens. 5: 97-111.
- BLAUSTEIN, A.R., WAKE, D.B. & SOUSA, W.P. 1994. Amphibian Declines: Judging Stability, Persistence, and Susceptibility of Populations to Local and Global Extinctions. Conservation Biology. 8:60-71.
- BRADLEY, P., BRAWNER, M.D., RAFFEL, T.R., ROHR, J.R., OLSON, BLAUSTEIN, A.R. 2017. Shifts in temperature influence how *Batrachochytrium dendrobatidis* infects amphibian larvae. bioRxiv. 10.1101/165985.
- BROOKS, T.M., MITTERMEIER, R.A., MITTERMEIER, C.G., FONSECA, G.A.B., RYLANDS, A.B., KONSTANT, W.R., FLICK, P., PILGRIM, J., OLDFIELD, S., MAGIN, G. & HILTON-TAYLOR, C. 2002. Habitat Loss and Extinction in the Hotspots of Biodiversity. Conservation Biology. 16(4):909-923.
- BROWN, J. H. 2014. Why are there so many species in the tropics? J. Biogeogr. 41:8-12.
- BUTCHART, S. H., AKÇAKAYA, H. R., CHANSON, J., BAILLIE, J. E., COLLEN, B., QUADER, S., TURNER, W.R., AMIN, R., STUART, S.N. & HILTON-TAYLOR, C. 2007. Improvements to the red list index. PloS one. 2:1-8.
- CARDILLO, M. & BROMHAM, L. 2001. Body Size and Risk of Extinction in Australian Mammals. Conservation Biology. 15:1435-1440.

- CARRILLO, J.D., FORAESIEPI A., JARAMILLO, C. & SÁNCHEZ-VILLAGRA, M.R. 2015. *Frontiers in Genetics*. 5:1-11.
- CEBALLOS, G., EHRLICH, P.R., BARNOSKY, A.D., GARCÍA, A., PRINGLE, R.M. & PALMER, T.M. 2015. Accelerated modern human-induced species losses: Entering the sixth mass extinction. *Sciences advances*. 1:1-5.
- CHANSON, J., HOFFMANN, M., COX, N., STUART, S. 2008. The state of the world's amphibians, in: Stuart, S., Hoffmann, M., Chansons, J., Cox, N., Berridge, R., Ramani, P., Young, B. (Eds) *Threatened Amphibians of the World*. Lynx Edicions, Barcelona, pp. 33-52.
- DAVIES, K.F., MARGULES, C.R. & LAWRENCE, J.F. 2000. Which traits of species predict population declines in experimental forest fragments? *Ecology*. 81:1450-1461.
- DEBASTIANI, V. Em preparação. Função PVR adonis. In FURTADO, R.S., DUARTE, L., DEBASTIANI, V., MÁRQUEZ, R., HARTZ, S.M. Visual signaling during intraspecific communication in amphibian anurans: phylogeny, environment or color factors?
- DINIZ-FILHO, J.A.F., BINI, L.M., RANGEL, T.F., MORALES-CASTILLA, I., OLALLA-TÁRRAGA, M.Á., RODRÍGUES, M.Á. & HAWKINS, B.A. 2011. On the selection of phylogenetic eigenvectors for ecological analyses. *Ecography*. 34:001-011.
- DUELLMAN, W.E. & L. TRUEB. 1994. *Biology of Amphibians*. The Johns Hopkins University Press, Baltimore.
- DUELLMAN, W.E. & SWEET, S.S. 1999. Distribution patterns of amphibians in the Nearctic Region of North America. In: Duellman, W.E. (Ed). *Patterns of Distribution of Amphibians, A global Perspective*, Johns Hopkins University Press, Baltimore, p.31-111.
- DUELLMAN, W.E. & TRUEB, L. 1986. *Biology of amphibians*. McGraw-Hill, New York.
- ELSEN, P.R. & TINGLEY, M.W. 2015. Global mountain topography and the fate of montane species under climate change. *Nature climate change*. 5:772-777.
- FELSENSTEIN, J. 1985. Phylogenies and the Comparative Method. *Am. Nat.* 125:1-15.

- FRÉVILLE, H., MCCONWAY, K., DODD, M. & SIVERSTOWN, J. 2007. Prediction of extinction in plants: Interaction of extrinsic threats and life history traits. *Ecology*. 88:2662-2672.
- FRITZ, S.A., BININDA-EMONDS, O.R.P & PURVIS, A. 2009. Geographical variation in predictors of mammalian extinction risk: big is bad, but only in the tropics. *Ecology Letters*. 12(6):539-549.
- FROST, D.R. 2016. Amphibian Species of the World: an Online Reference. Version 6.0. Disponível em: <http://research.amnh.org/vz/herpetology/amphibia/>. American Museum of Natural History, Nova Iorque.
- GASTON, K.J & BLACKBURN, T.M. 1995. Birds, Body Size and the Threat of Extinction. *Phil. Trans. R. Soc. Lon. B*. 347:2015-212.
- GRAHAM, A. 1997. Neotropical Plant Dynamics During the Cenozoic-Diversification, and the Ordering of Evolutionary and Speciation Processes. *ASPT*. 22: 139-150.
- GREENBERG, D.A. & MOOERS, A. O. 2017. Linking speciation to extinction: Diversification raises contemporary extinction risk in amphibians. *Evolution Letters*. 1:40-48.
- GROOM, M.J. 2005. Threats to Biodiversity in: Groom, M.J., Meffe, G.K., Carroll, C.R. (Eds). *Principles of Conservation Biology*. Oxford University Press, pp. 63-109.
- HADDAD, C.F.B. & PRADO, C.P.A. 2005. Reproductive Modes in Frogs and Their Unexpected Diversity in the Atlantic Forest of Brazil. *BioScience*. 55:207-217.
- HAYES, T.B., FALSO, P., GALLIPEAU, S. & STICE., M. 2010. The cause of global Amphibian declines: a developmental endocrinologist's perspective. *The Journal of Experimental Biology*. 213:921-933.
- HERO, J.M. & MORRISON, C. 2004. Frog declines in Australia: Global implications. *Herpetological Journal*. 14:175-186.
- HERO, J.M., WILLIAMS, S.E. & MAGNUSSON, W.E. 2005. Ecological traits of declining amphibians in upland areas of eastern Australia. *J. Zool. Lond.* 267: 221-232.

- HOFFMANN, M. et al. 2010. The Impact of Conservation on the Status of the World's Vertebrates. *Science*. 330:1503-1509.
- HOPKINS, W.A. 2007. Amphibians as Models for Studying Environmental Change. *ILAR Journal*. 48:270-277.
- IUCN. 2016. The IUCN Red List of Threatened Species. Versão 2016. Disponível em: <http://www.iucnredlist.org>.
- JIMÉNEZ-ROBLES, O., GUAYASAMIN, J.M., RON, S.R. & RIVA, I. 2017. Reproductive traits associated with species turnover of amphibians in Amazonia and its Andean slopes. *Ecology and Evolution*. 7:2489-2500.
- JOLY, C.A. 2008. Biodiversity and climate change in the Neotropical region. *Biota Neotrop*. 8.
- KIER, G., MUTKE, J., DINERSTEIN, E., RICKETTS, T.H., KÜPFER, W., KREFT, H. & BARTHLOTT, W. 2005. Global patterns of plant diversity and floristic knowledge. *J. Biogeogr.* 32:1107-1116.
- KIM, J. & SANDERSON, M.J. 2008. Penalized Likelihood Phylogenetic Inference: Bridging the Parsimony-Likelihood Gap. *57:665-667*.
- LAMARCA, E., LIPS, K.R., LÖETTERS, S., PUSCHENDORF, R., IBÁÑEZ, R., RUEDA-ALMONACID, J.V., SCHULTE, R., MARTY, C., CASTRO, F., MANZANILLA-PUPPO, J., GARCÍA-PÉREZ, J.E., BOLAÑOS, F., CHAVES, G., POUNDS, J.A., TORAL, E. & YOUNG, B.E. 2005. Catastrophic Population Declines and Extinctions in Neotropical Harlequin Frog (Bufonidae: Atelopus). *Biotropica*. 37:190-201.
- LEE, T.M. & JETZ, W. 2010. Unravelling the structure of species extinction risk for predictive conservation science. *Proc. R. Soc. B*. 278:1329-1338.
- LIPS, K.R., BREM, F., BRENES, R., REEVE, J.D., ALFORD, R.A., VOYLES, J., CAREY, C., LIVO, L. PESSIER, A.P. & COLLINS, J.P. 2006. Emerging infectious disease and the loss of biodiversity in a Neotropical Amphibian Community. *PNAS*. 103:3165-3170.

- LIPS, K.R., REEVE, J.D. & WITTERS, L.R. 2003. Ecological Traits Predicting Amphibian Population Declines in Central America. *Conservation Biology*. 17:1078-1088.
- MARTINS, W.S., CARMO, W.C., LONGO, H.J. ROSA, T.C. & RANGEL, T.F. 2013. SUNPLIN: Simulation with Uncertainty for Phylogenetic Investigations. *BMC Bioinformatics*. 14:1-11.
- MESQUITA, A.F.C. LAMBERTINI, C., LYRA, M., MALAGOLI, L.R., JAMES, T.Y., TOLEDO, L.F., HADDAS, C.F.B. & BECKER, C.G. 2017. Low resistance to chytridiomycosis in direct-developing amphibians. *Scientific reports*. 7:1-7.
- MORRISON, C. & HERO, J.M. 2003. Geographic variation in life-history characteristics of amphibians: a review. *Journal of Animal Ecology*. 72:270-279.
- OKSANEN, J., BLANCHET, F.G., FRIENDLY, M., KINDT, R., LEGENDRE, P., MCGLINN, D., MINCHIN, P.R., O'HARA, R.B., SIMPSON, G.L., SOLYMOS, P., STEVENS, M.H.H., SZOECS, E. & WAGNER, H. 2017. vegan: Community Ecology Package. R package version 2.4-4.
- OLDEN J.D., HOGAN, Z.S. & ZANDEN, J.V.M. 2007. Small fish, big fish, red fish, blue fish: size-biased extinction risk of the world's freshwater and marine fishes. *Global Ecol. Biogeogr.* 16:694-701.
- PARADIS, E. 2013. Molecular dating of phylogenies by likelihood methods: A comparison of models and a new information criterion. *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 67:436-444.
- PARADIS, E., CLAUDE, J. & STRIMMER, K. 2004. Ape; Analysis of Phylogenetics and Evolution in R language. *Bioinformatics*. 20:289-290.
- POUGH, F.H., HEISER, J.B. & MCFARLAND, W.N. 1999. *A vida dos vertebrados*. Atheneu, São Paulo.
- PURVIS, A., GITTLEMAN, J.L., COWLISHAW, G. & MACE, G.M. 2000. Predicting extinction risk in declining species. 267:1947-1952.

- PYRON, R.A., 2014. Biogeographic Analysis Reveals Ancient Continental Vicariance and Recent Oceanic Dispersal in Amphibians. *Syst Bio.* 63:779-797.
- R CORE TEAM. 2017. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna.
- RAFFEL, T. R., ROMANSIC, J.M., HALSTEAD, N.T., MCMAHON, T.A., VENESKY, M.D. & ROHR, J.R. 2012. Disease and thermal acclimation in a more variable and unpredictable climate. *Nature climate change.* 3:146-151.
- RANGEL, T.F., COLWELL, R.K., GRAVES, G.R., FUCIKOVÁ, K., RAHBEK, C. & DINIZ-FILHO, J.A.F. 2015. Phylogenetic uncertainty revisited: Implications for ecological analysis. *Evolution.* 69:1301-1312.
- RIBEIRO, J., COLLI, G. R., CALDWELL, J. & SOARES, A.M.V.M. 2016. Na integrated trait-based framework to predict extinction risk and guide conservation planning in biodiversity hotspots. *Biological Conservation.* 195:214-223.
- RICHARD, S. 2008 Amphibians of the Papuan Region Köhler. In STUART, S., HOFFMANN, M., CHANSON, J. et al. (eds). 2008. *Threatened Amphibians of the World.* 1 ed. Lynx Edicions, Barcelona.
- RIPPLE, W.J., WOLF, C., NEWSOME, T.M., HOFFMANN, M., WIRSING, A.J. & MCCAULEY, D.J. 2017. Extinction risk is most acute for the world's largest and smallest vertebrates. *PNAS.* 1-6.
- SALTHER, S.N. & DUELLMAN, W.E. 1973. Quantitative constraints associated with reproductive mode in anurans. In VIAL, J.L. (Ed.), *Evolutionary biology of the anurans: contemporary research on major problems.* University of Missouri Press, Columbia, p.229-249.
- SANDERSON, M.J. 2002. Estimating Absolute Rates of Molecular Evolution and Divergence Times: A Penalized Likelihood Approach. *Mol. Biol. Evol.* 19:101-109.

- SILVA, J.M.C, SOUZA, M.C. & CASTELLETTI, C.H.M. 2004. Areas of endemism for passerine birds in the Atlantic forest, South America. *Global Ecol. Biogeogr.* 13:85-92.
- SIMPSON, G.G. 1950. History of the fauna of the Latin America. *American Scientist.* 38:361-389.
- SODHI, N.S., BICKFORD, D., DIESMOS, A.C., LEE, T.M., KOH, L.P. BROOK, B.W., SEKERCIOGLU, C.H. & BRADSHAW, C.J.A. 2008. Measuring the Meltdown: Drivers of Global Amphibian Extinction and Decline. *Plos One.* 3:1-8.
- STUART, S., HOFFMANN, M., CHANSON, J. et al. (eds). 2008. *Threatened Amphibians of the World.* 1 ed. Lynx Edicions, Barcelona.
- STUART, S.N., CHANSON, J.S. COX, N.A., YOUNG, B.E., RODRIGUES, A.S.L., FISCHMAN, D.L. & WALLER, R.W. 2004. Status and Trends of Amphibian Declines and Extinction Worldwide. *Science.* 306:1783-1 786.
- WALTHER, G.R., POST, E., CONVEY, P., MENZEL, A., PARMESAN, C., BEEBEE, T.J.C., FROMENTIN, J.M., HOEH-GULBERG, O. & BAIRLEIN, F. 2002. Ecological responses to recent climate change. *Nature.* 416:389-395.
- WELLS, K.D. 2007. *The Ecology and Behavior of Amphibians.* The University Chicago Press, Londres.
- WILLIAMS, S.E. & HERO, J.M. 1998. Rainforest frogs of the Australian Wet Tropics: guild classification and the ecological similarity of declining species. *Proc. R. Soc. Lond. B.* 265:597-602.
- YOUNG, B.E., LIPS, K. R., REASER, J.K., IBÁÑEZ, R., SALAS, A.W., CEDEÑO, J.R., COLOMA, L.A., RON, S., MARCA, E., MEYER, J.R., MUÑOZ, A., BOLAÑOS, F., CHAVES, G. & ROMO, D. 2001. Population declines and priorities for amphibian conservation in Latin America. *Conservation Biology,* 15:1213-1223.

## Material suplementar

**Tabela S1** – Tabela de atributos e respostas mensurados para 3096 espécies de anfíbios neotropicais.

<b>Modos Reprodutivos - Haddad &amp; Prado 2005</b>	
<b>Modo</b>	<b>Descrição</b>
1	Ovos depositados diretamente na água e girinos exotróficos em água parada
2	Ovos depositados diretamente na água e girinos exotróficos em água corrente
3	Ovos depositados diretamente na água e estágios larvais iniciais em câmaras subaquáticas; girinos exotróficos em riachos
4	Ovos depositados diretamente na água e estágios larvais iniciais em pequenas piscinas naturais ou feitas pelos machos; após inundação, girinos exotróficos em água parada
5	Ovos depositados diretamente na água e estágios larvais iniciais em "ninhos" subterrâneos; após inundação, girinos exotróficos em água parada ou riachos
6	Ovos depositados diretamente na água e girinos exotróficos em água acumulada em buracos de troncos ou em plantas aéreas
7	Ovos depositados diretamente na água e girinos endotróficos em depressões com água
8	Ovos depositados diretamente na água e girinos endotróficos em água acumulada em buracos de troncos ou em plantas aéreas
9	Ovos depositados diretamente na água depositados em riachos e engolidos pela fêmea; ovos e girinos completam o desenvolvimento no estômago da fêmea
10	Ovos em ninho de bolhas flutuantes em água parada, girinos exotróficos em água parada
11	Ninho de espuma flutuante e girinos exotróficos em água parada
12	Ninho de espuma flutuante em água parada e girinos exotróficos em riachos
13	Ninho de espuma flutuante em pequena piscina construída; girinos exotróficos em água parada
14	Ninho de espuma flutuante em água acumulada nas axilas de bromélias terrestres; girinos exotróficos em água parada
15	Ovos fixados no dorso das fêmeas aquáticas eclodem girinos exotróficos
16	Ovos fixados no dorso das fêmeas aquáticas eclodem miniaturas de adultos (sem girino)
17	Ovos e estágios iniciais de desenvolvimento dos girinos em ninhos de escavados; após o transbordamento, girinos exotróficos em água parada ou riachos
18	Ovos no chão ou rochas sobre a água; após eclosão, girinos exotróficos na água
19	Ovos em rochas úmidas, cavidades nas rochas ou raízes de árvores sobre a água; girinos semi-terrestres exotróficos em rochas ou cavidades de rochas com um filme de água ou na interface entre água e solo
20	Ovos terrestres; girinos exotróficos carregados para água pelos adultos
21	Ovos terrestres; girinos endotróficos que completam seu desenvolvimento no ninho
22	Ovos terrestres; girinos endotróficos completam desenvolvimento no dorso ou

---

	em marsúpio dos adultos
23	Desenvolvimento direto de ovos terrestres
24	Ovos arborícolas, após eclosão, girinos exotróficos que caem em água parada
25	Ovos arborícolas, após eclosão, girinos exotróficos que caem em água corrente
26	Ovos arborícolas, após eclosão, girinos exotróficos que se desenvolvem em cavidades de troncos preenchidas com água
27	Ovos arborícolas, após eclosão em miniaturas de adultos (sem girino)
28	Ninho de espuma no chão úmido de floresta; após inundação, girinos exotróficos em água parada
29	Ninhos de espuma com ovos e desenvolvimento inicial dos girinos em depressão no solo úmido; após o transbordamento, girinos exotróficos em água parada ou riachos
30	Ninho de espuma com ovos e desenvolvimento inicial dos girinos em câmara subterrânea construída; após inundação girinos exotróficos em água parada
31	Ninho de espuma com ovos e desenvolvimento inicial dos girinos em câmara subterrânea construída; após inundação girinos exotróficos em riachos
32	Ninho de espuma em câmara subterrânea construída; girinos endotróficos completam desenvolvimento no ninho
35	Ovos carregados em uma bolsa dorsal da fêmea; girinos exotróficos em água parada
36	Ovos carregados no dorso ou em bolsa dorsal da fêmea; girinos endotróficos em água acumulada em bromélias ou bambus
37	Ovos carregados no dorso ou em bolsa dorsal da fêmea; desenvolvimento direto em miniaturas dos adultos
38	Ovos retidos nos ovidutos, nutrição provida por vitelo
39	Ovos retidos no oviduto, nutrição provida por secreções do oviduto

#### **Sítio de oviposição – Haddad & Prado 2005**

<b>Subcategoria</b>	<b>Descrição</b>
1	Ovos diretamente na água
2	Ninho de bolhas em água parada
3	Ninho de espuma aquático
4	Fixados no dorso da fêmea
5	Solos, rochas e cavidades
6	Arborícolas
7	Ninhos de espuma terrestre
8	Carregados pelo adulto
9	Ovos retidos nos ovidutos

#### **Nutrição do girino – Haddad & Prado 2005**

<b>Subcategoria</b>	<b>Descrição</b>
1	Exotrófico
2	Endotrófico
3	Nutrição provida pelo vitelo
4	Nutrição fornecida por secreção do oviduto
5	Sem a fase de girino, eclosão direta em miniatura do adulto

---

---

### Tamanho Corporal

Subcategoria	Descrição
1	Tamanho corporal médio para a espécie, quando não disponível utilizamos valores máximos, ou então valores de holótipos

### Habitat - IUCN 2016

Subcategoria	Descrição
1	Floresta Boreal
2	Floresta Subantártica
3	Floresta Temperada
4	Floresta Tropical/Subtropical Seca
5	Floresta Tropical/Subtropical de baixada úmida
6	Vegetação Tropical/subtropical de floresta de manguezal acima do nível de maré alta
7	Floresta tropical/subtropical de pântano
8	Floresta tropical/subtropical úmida de Montana
9	Savana seca
10	Savana úmida
11	Matagal subantártico
12	Matagal temperado
13	Matagal tropical/subtropical seco
14	Matagal tropical/subtropical úmido
15	Matagal tropical/subtropical de alta altitude
16	Vegetação tipo mediterrânea
17	Tundra
18	Campos subantárticos
19	Campos temperados
20	Campos tropicais/subtropicais secos de baixada
21	Campos tropicais/subtropicais de baixada sazonalmente secos
22	Campos tropicais/subtropicais de altitude
23	Rios, riachos e cachoeiras permanentes
24	Rios riachos e cachoeiras sazonais, intermitentes ou irregulares
25	Pântanos, marismas e turfeiras (acima de 8ha)
26	Lagos de água doce permanentes (acima de 8 ha)
27	Lagos de água doce sazonais ou intermitentes (acima de 8 ha)
28	Pântanos e piscinas naturais permanentes (acima de 8 ha)
29	Pântanos e piscinas naturais sazonais ou intermitentes (acima 8 ha)
30	Oásis de água doce
31	Áreas úmidas alpinas (incluem águas temporárias de degelo)
32	Áreas úmidas geotermiais
33	Deltas interiores permanentes
34	Lagos sazonais ou intermitentes salinos ou alcalinos
35	Piscinas ou pântanos permanentes salinos ou alcalinos
36	Carste e outros sistemas aquáticos subterrâneos interiores
37	Áreas rochosas

---

---

38	Cavernas
39	Outros habitats subterrâneos
40	Deserto quente
41	Deserto temperado
42	Deserto frio
43	Pântanos salgados
44	Lagos marinhos e lagoas salinas e costeiras
45	Lagos costeiros de água doce
46	Terra arável
47	Pastagem
48	Plantações
49	Jardins rurais
50	Áreas urbanas
51	Florestas tropicais/subtropicais altamente degradadas
52	Áreas de armazenamento de água (mais de 8ha)
53	Lagos artificiais (menos 8ha)
54	Lagos de aquicultura
55	Sítios de exploração de sal
56	Escavações abertas com água
57	Área de tratamento de águas residuais
58	Terras irrigadas (incluem canais de irrigação)
59	Terras agrícolas sazonalmente inundadas
60	Canais, canais de drenagem e diques
61	Carste e outros sistemas hidrológicos subterrâneos (construídos pelo homem)
62	Desconhecido
63	Vegetação introduzida
64	Outros

#### Fator de ameaça - IUCN 2016

Subcategoria	Descrição
1	Desenvolvimento residencial e comercial
2	Agricultura e aquicultura
3	Produção de energia e mineração
4	Serviços de transporte e corredores
5	Uso de recurso biológico
6	Invasão humana
7	Modificação de sistemas naturais
8	Espécies invasoras, genes e doenças
9	Poluição
10	Eventos geológicos
11	Mudanças climáticas e climas severos

#### Tendência populacional – IUCN 2016

Subcategoria	Descrição
1	Em declínio
2	Estável

---

---

3 Em expansão

**Categorias de ameaça – IUCN 2016**

**Subcategoria**

- |          |                             |
|----------|-----------------------------|
| <b>1</b> | Extinta (EX)                |
| <b>2</b> | Extinta na natureza (EW)    |
| <b>3</b> | Criticamente em perigo (CR) |
| <b>4</b> | Ameaçada (EN)               |
| <b>5</b> | Vulnerável (VU)             |
| <b>6</b> | Quase ameaçada (NT)         |
| <b>7</b> | Pouco preocupante (LC)      |
| <b>8</b> | Dados deficientes (DD)      |
| <b>9</b> | Não avaliada (NE)           |
-

## CAPÍTULO II

### **Atributos ecológicos de anuros em uma paisagem agrícola na Mata Atlântica no sul do Brasil.**

Rodrigo Barbosa Fontana<sup>1\*</sup>; Noeli Zanella<sup>2</sup> e Sandra Maria Hartz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-graduação em Ecologia, Instituto de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.

<sup>2</sup> Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, Brasil.

\*Autor para correspondência: rbf.fontana@gmail.com

Artigo a ser submetido na revista Biota Neotropica

## **Resumo**

O declínio populacional e risco de ameaça de muitas espécies animais estão fortemente relacionados com a conversão de ambientes naturais em extensas áreas de monoculturas agrícolas. A ocorrência de espécies nesses novos ambientes é mediada principalmente pelas características de história de vida que caracterizam cada espécie com diferentes capacidades adaptativas. Procuramos identificar possíveis relações entre atributos ecológicos e morfológicos de anuros com uma paisagem agrícola no sul do Brasil. Para isso, registramos a anurofauna com uso de armadilhas de interceptação e queda e procuras ativas, em três diferentes distâncias da borda em um ambiente florestal e em uma matriz agrícola. Para verificar as relações dos atributos com os ambientes e as distâncias utilizamos métodos de análises exploratórias. Verificamos que principalmente os atributos ecológicos, como o modo reprodutivo (tanto terrestre como aquático) e o hábito estão relacionados com a ocorrência destas espécies no sistema agrícola, assim como encontramos diferenças entre os atributos morfológicos ao longo deste gradiente de distâncias.

**Palavras chave:** tamanho corporal; condição corporal; modo reprodutivo, matriz agrícola

## **Abstract**

Population decline and threat of many animals are strongly related to the conversion of natural environments into extensive monoculture farming. Which species occurs in these new environments is mainly mediated by its resistance capacity and life history traits. Here we verified if anuran ecological and morphological traits are related to agricultural landscape in southern Brazil. For this, we studied the anurofauna using pitfall traps and active searches at three different border distances in a forest environment and in an agricultural matrix. To verify the relation of the studied traits with the environments and the distances from the borders we used exploratory analysis. We found that mostly of the ecological traits, such as

reproductive mode (both terrestrial and aquatic) and habit, are related to the occurrence of determined anurans species in the agricultural system. We also found differences among the morphological traits observed through the distance gradient from the border.

**Keywords:** body size; body condition; reproductive mode; agricultural matrix

## **Introdução**

Estimativas e projeções apontam para um crescimento cada vez mais acentuado da população humana ao longo das próximas décadas (Cohen 2003, Bongaarts 2009). Essa crescente expansão populacional por sua vez requer o aumento de novas áreas produtivas, principalmente para o suprimento da crescente demanda por alimentos e produtos de origem agrícola. Sendo assim, as áreas naturais estão sendo reduzidas a fragmentos ou mosaicos cercados por um ambiente altamente explorado pela agricultura e que em muitos casos torna-se o elemento mais abundante na paisagem, sendo conhecido como matriz (Pahari & Murai 1999, Burel & Baudry 2003, Ficetola & Beranrdi 2003, Tilman et al. 2011). Além disso, os processos de alteração da paisagem estão associados a fragmentação, destruição, degradação e desconexão dos habitats, fatores esses que são considerados as principais fontes de ameaça a biodiversidade (Andrén 1994, Brooks et al. 2002, Becker et al. 2007, Primack & Rodrigues 2001, Chaudhary et al. 2016).

Os processos de conversão de áreas naturais visando a agricultura, pastagem, extração madeireira e ocupação humana também foram os principais responsáveis pela extensa redução da Mata Atlântica, a segunda maior floresta pluvial tropical da América (Tabarelli et al. 2005, Lagos 2007). Originalmente distribuída de forma contínua ao longo da região costeira do Brasil, penetrando ao leste do Paraguai e nordeste da Argentina, hoje encontra-se reduzida a cerca de 12% da sua cobertura original (Tabarelli et al. 2005, Ribeiro et al 2009). Principalmente pela ampla distribuição original e pelas diferentes fitofisionomias, a Mata

Atlântica possui a capacidade de abrigar uma extensa diversidade de espécies muitas das quais são endêmicas e ameaçadas de extinção, sendo considerada um dos *hotspots* mundiais para a conservação da biodiversidade (Morellato & Haddad 2000, Myers et al. 2000, Tabarelli et al. 2005). Dentre as diferentes fitofisionomias pertencentes à Mata Atlântica a Floresta Ombrófila Mista está entre as mais ameaçadas, devido principalmente à exploração de seus recursos de alto valor comercial e conversão em áreas agropecuárias (Medeiros et al. 2005).

Dentre os vertebrados endêmicos da Mata Atlântica, os anuros se destacam como o grupo mais representativo, com mais de 40% das espécies ocorrendo exclusivamente nesse bioma (Haddad et al. 2013). O Brasil é o país que possui a maior riqueza de espécies deste grupo, sendo atualmente conhecidas 1039 espécies (Segalla et al. 2016). Essa ampla diversidade é resultado principalmente da dependência de umidade apresentada pelos anfíbios, necessidade essa que a floresta consegue suprir. Além disso, esse bioma oferece uma grande heterogeneidade ambiental e possui uma complexa formação com cadeias de montanhas, que permitiram o isolamento genético entre as populações resultando em processos de especiação (Haddad et al. 2013). Assim como demais vertebrados, os anuros estão propensos ao declínio e extinção local de espécies em consequência das ações antrópicas sob seus habitats, bem como devido a suas características ecológicas (Gibbs 1997; Peltzer & Lajmanovich 2001, Sodhi et al. 2008).

Determinadas características ecológicas e de história de vida, também conhecidas como atributos, podem influenciar o desempenho e o *fitness* dos indivíduos no meio em que ocorrem (McGill et al. 2006, Podgaiski et al. 2011). Além disso, esses atributos podem ser essenciais na determinação do uso dos habitats antrópicos pelas espécies, assim como na vulnerabilidade aos processos de fragmentação (Dixo & Metzger 2010). Desse modo, as novas áreas então convertidas podem apresentar diferentes permeabilidades à dispersão e à persistência de muitas espécies animais, podendo funcionar como habitat, corredores,

barreiras ou filtros ambientais para essas espécies (Kupfer et al. 2006, Perfecto & Vandermeer 2008, Robertson & Radford 2009).

Por possuírem diferentes atributos e requerimentos as espécies podem responder de maneiras distintas aos processos de conversão de habitat, podendo ser prejudicadas ou até mesmo beneficiadas (Devictor et al. 2008, Newbold et al. 2014). Alguns trabalhos buscando relacionar atributos ecológicos e reprodutivos, como preferência de habitat, guilda trófica e modos reprodutivos já demonstraram essas diferentes respostas associadas às alterações antrópicas (Becker et al. 2007, Devictor et al. 2008, Kennedy et al. 2010). Além disso, mudanças em atributos morfológicos, como o tamanho e a condição corporal em resposta a alteração ambiental de também já foram reportadas para diferentes grupos animais, incluindo os anfíbios, bem como a capacidade de indivíduos com membros maiores se dispersarem a distâncias mais longas bem como ocuparem novas áreas (Phillips et al. 2006, Lomolino & Perault 2007, Battles et al. 2013, Steinicke et al. 2015, Hermes et al. 2016). No entanto o conhecimento sobre a capacidade de os anfíbios ocuparem, persistirem e transporem ambientes modificados ainda são escassos (Cline & Hunter 2014, Hirschfeld & Röedel 2017), especialmente na Floresta Ombrófila Mista onde ainda não temos este tipo de avaliação.

Dessa forma, sabendo que a conversão ambiental é uma das principais fontes de ameaça aos anfíbios e partindo do pressuposto de que matrizes agrícolas são ambientes mais instáveis e homogêneos e, portanto, não suprem na totalidade as exigências da anurofauna como o ambiente florestal, este trabalho busca entender de que forma atributos morfológicos e ecológicos de anfíbios estão relacionados com uma paisagem agrícola na Floresta Ombrófila Mista, no sul do Brasil. Como respostas, esperamos encontrar que: i) a matriz agrícola possa ser permeável a ocorrência de algumas espécies de anfíbios, principalmente espécies com hábito terrícola, visto que são espécies que estão mais habituadas a simplificação ambiental; ii) indivíduos com membros e tamanho corporal maiores consigam utilizar a matriz agrícola,

uma vez que possuem maior capacidade de deslocamento; iii) modos reprodutivos terrestres sejam mais associados a matriz agrícola uma vez que os corpos d'água são escassos.

## **Material e métodos**

### *Área de estudo*

O estudo foi desenvolvido no Parque Natural Municipal de Sertão (PNMS), o qual está situado no município de Sertão na região norte do estado do Rio Grande do Sul, Brasil, bem como áreas de matriz agrícola limítrofes ao parque (28° 02' 31" S e 52° 13' 28" W). A área do PNMS possui uma altitude aproximada de 650 metros e pertence à formação florestal do tipo Floresta Ombrófila Mista, integrante do bioma Mata Atlântica (Oliveira-Filho et al. 2006). O PNMS é uma Unidade de Conservação (UC) de uso sustentável, composta por dois fragmentos florestais descontínuos com áreas de cerca de 513.10 e 77.77 hectares circundados por uma matriz predominantemente agrícola de culturas anuais (soja, aveia e cevada), representando assim a maior área de mata nativa e a segunda maior UC do norte do estado (Slaviero 2014).

### *Amostragem da anurofauna*

A amostragem da anurofauna ocorreu de dezembro de 2016 a novembro de 2017 através do uso de armadilhas de interceptação e queda (AIQ - *pitfall traps with drift fences*) (Cechin & Martins 2000) associadas a métodos de procura ativa noturna (PA). Foram amostrados dois diferentes tipos de ambientes, sendo: i) mata nativa (área do maior fragmento do PNMS) e ii) lavoura circundante (matriz agrícola limítrofe ao PNMS). Em cada ambiente foram dispostos três conjuntos de AIQ, sendo cada conjunto composto por oito bombonas plásticas distantes 10 metros uma da outra ligadas por uma tela de um metro de altura. Dessa forma, cada ambiente continha 24 bombonas, totalizando seis conjuntos e 48 armadilhas.

Cada conjunto de armadilhas foi disposto a uma distância fixa da borda da mata, sendo a: i) 50 metros (L1); ii) 250 metros (L2) e iii) 450 metros da borda da mata (L3), tanto para conjuntos instalados na mata quanto na lavoura. A distância foi delimitada até 450 metros da borda em virtude de ser a distância máxima permitida pelos proprietários da área de lavoura para instalação dos conjuntos de AIQ.

As AIQ permaneceram abertas por períodos de cinco dias por mês ao longo de 12 meses, totalizando 60 dias de amostragem. Buscamos associar os métodos de procura ativa para uma maior coleta de dados de toda a assembleia de anuros do local. A procura ativa foi realizada durante uma noite por mês, sendo realizada em pontos delimitados em ambos os ambientes. Cada conjunto de AIQ e cada PA foram consideradas nossas unidades amostrais. Os espécimes foram coletados de acordo com licença de coleta (nº 56527-1) cedida pelo ICMBio/SISBIO, tendo espécimes testemunhos depositados na Coleção de Anfíbios da Universidade de Passo Fundo (CAUPF), Instituto de Ciências Biológicas, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, Rio Grande do Sul.

#### *Coleta de atributos*

Após a coleta, todos os espécimes foram transportados ao Laboratório de Zoologia da Universidade de Passo Fundo, onde tiveram seus atributos aferidos. Foram considerados 13 atributos, divididos em duas categorias: atributos ecológicos e atributos morfológicos (Tabela 1). Os atributos morfológicos foram avaliados à nível de indivíduo, enquanto atributos ecológicos foram avaliados à nível de espécie, pressupondo a não ocorrência de diferenças intraespecíficas.

As medidas morfológicas foram obtidas com auxílio de paquímetro digital e dinamômetro (apêndice 1). Através dos dados de massa e tamanho corporal calculamos o *Scaled Mass Index* (Peig & Green 2009), aqui representando a condição corporal de cada

indivíduo, medida essa que pode ser utilizada para indicar a qualidade do habitat, além do sucesso reprodutivo dos organismos (Benson & Bednarz 2010, Knapp & Knappová 2012).

O grau de especialização de habitat foi inferido através do uso de modelos multinomiais proposto por Chazdon et al. (2011). Este método classifica as espécies em quatro possíveis categorias com base no número de indivíduos coletados em dois ambientes distintos (mata e matriz), sendo: i) generalista; ii) especialista de mata; iii) especialista de matriz agrícola e iv) rara (quando são poucas informações para classificar a espécie com confiança).

Para evitar possíveis recapturas os anfíbios foram mantidos em cativeiro até o final de cada coleta mensal, sendo posteriormente liberados no ambiente de coleta. Os atributos avaliados foram escolhidos por estarem relacionados ao sucesso reprodutivo e a capacidade de dispersão e locomoção dos indivíduos, fatores determinantes para a sua sobrevivência (Haddad & Prado 2005, Phillips et al. 2006, Prado & Haddad, 2005).

**Tabela 1** – Atributos selecionados e mensurados para os espécimes de anuros registrados no município de Sertão, Rio Grande do Sul, Brasil.

<b>Atributo</b>	<b>Escala</b>	<b>Características/Unidade</b>
<b>Ecológicos</b>		
Especialização de habitat (Chazdon et al. 2011)	Categórico	1: generalistas, 2: especialistas de mata, 3: especialistas de lavoura e 4: raras (para classificação)
Hábito (Haddad et al. 2013)	Categórico	1: terrícola, 2: arborícola, 3: fossorial, 4: criptozoico e 5: terrícola arborícola
Modo reprodutivo (MR) (Haddad et al. 2013)	Categórico	1: ovos e girinos exotróficos em água parada, 2: ovos e girinos em água corrente, 11: ovos em ninho de espuma flutuante e girinos exotróficos em água parada, 23: ovos terrestres com

desenvolvimento direto, e 30: ovos em ninho de espuma, desenvolvimento inicial de girinos em câmaras subterrâneas, após inundação, girinos exotróficos em riachos

Padrão reprodutivo (Wells 1977) Categórico 1: prolongado e 2: explosivo

### Morfológicos

Massa corpórea (MC)	Contínuo	Medida em gramas
Comprimento rostro cloacal (CRC)	Contínuo	Medida em milímetros
Tamanho da tíbia (CT) (Freitas et al. 2008)	Contínuo	Medida em milímetros
Condição corporal (CC) (Peig & Green 2009)	Contínuo	SMI

### Análise dos dados

Como a coleta dos indivíduos não é seletiva sendo coletados tanto indivíduos jovens quanto adultos optamos por utilizar nas análises apenas os indivíduos com tamanho rostro-cloacal superior ao descrito para os adultos pela literatura (Kwet, Lingnau & Di-Bernardo 2010, AmphibiaWeb 2018). Além disso, *singletons* foram excluídos por não serem passíveis de cálculo da condição corporal, desse modo, as análises foram realizadas com informações de 17 espécies e 415 indivíduos. A fim de testar nossas hipóteses utilizamos métodos de análises exploratórias, sendo previamente avaliada a correlação entre os atributos mensurados.

Utilizamos análise de variância multivariada por permutação (perMANOVA, Anderson 2001) para avaliar possíveis diferenças de composição entre as diferentes distâncias dos ambientes, sendo utilizada transformação logarítmica e a distância de Bray Curtis. Para testar diferenças nos atributos morfológicos dos indivíduos entre as unidades amostrais

utilizamos o teste de Kruskal-Wallis, seguido do teste *post hoc* de Wilcoxon com correção de taxas de falsas descobertas (fdr) para os valores significativos, ambas as análises foram realizadas no *software* R através dos pacotes {stats} e {vegan} (Oksanen et al. 2017, R Core Team 2017).

Para a análise exploratória, inicialmente construímos duas matrizes utilizando os dados referentes ao número de indivíduos coletados, unidades amostrais e atributos, sendo: **L** – primeira matriz, contendo a ocorrência de  $p$  indivíduos dentro de  $n$  unidades amostrais ( $n \times p$ ) e **Q** – segunda matriz, descrevendo  $s$  atributos por  $p$  indivíduos ( $p \times s$ ). Em seguida, através da função “matrix.t” do pacote {SYNCSA} no *software* R (Debastiani & Pillar 2012, R Core Team 2017) multiplicamos ambas as matrizes, resultando em uma matriz **T** contendo então valores de  $s$  atributos por  $n$  unidades amostrais ( $n \times s$ ). Posteriormente a matriz **T** foi submetida a uma Análise de Componentes Principais (PCA) utilizando a função “prcomp” do pacote {stats}. Para a PCA não utilizamos os atributos referentes à especialização de habitat uma vez que estes estão diretamente associados com a ocorrência de indivíduos em cada ambiente, bem como dados de indivíduos capturados nas procuras ativas, uma vez que o objetivo era relacionar as diferentes distâncias dos ambientes com os atributos mensurados.

Por fim utilizamos um modelo de classificação *Random Forest* (RF) a fim de verificar a importância dos atributos morfológicos e ecológicos para a ocorrência dos anfíbios na lavoura. Este método é uma extensão das árvores de classificação e se baseia na reunião de um conjunto de árvores que combinam previsões a fim de melhorar a precisão da classificação, reduzir o efeito de variáveis correlacionadas e estimar a importância de preditores (Breiman 2001, Cutler et al. 2007, Murray et al. 2010, Ribeiro et al. 2016). Aqui utilizamos o decaimento médio da acurácia como medida de importância das variáveis. Esta medida reflete a importância relativa de cada atributo para a ocorrência dos anfíbios na matriz estimada pela redução na acurácia do modelo ao remover cada atributo (Ribeiro et al. 2016).

Para gerar o modelo de RF utilizamos como base a matriz de dados originais (atributos e unidades amostrais para cada indivíduo), 700 árvores e quatro variáveis selecionadas aleatoriamente para a divisão de cada nó, sendo utilizada a função e o pacote {randomForest} (Liaw e Wiener 2002, R Core Team 2017).

## Resultados

### *Riqueza de espécies*

Ao todo foram capturados 712 indivíduos de 20 espécies distribuídos em 10 gêneros e seis famílias (Tabela 2). Deste total, 396 indivíduos foram capturados na mata (18 espécies), enquanto 316 (16 espécies) foram capturados na lavoura. Das 20 espécies coletadas *Boana curupi*, *Ischnocnema henselii*, *Scinax granulatus* e *S. perereca* foram capturadas somente na mata, enquanto *Leptodactylus fuscus* e *Physalaemus biligonigerus* foram exclusivas da matriz agrícola. *P.gracilis* foi a espécie com o maior número de indivíduos capturados tanto na mata nativa quanto na lavoura (Figura 1). Em relação a composição de anfíbios, não foi encontrada diferença significativa entre as diferentes unidades amostrais ( $F_{1,4} = 0,15$ ,  $p = 0,93$ ).

**Tabela 2** – Número de indivíduos de cada espécie coletados em cada ambiente no período de dezembro de 2016 a novembro de 2017, no município de Sertão, Rio Grande do Sul, Brasil

Família/Espécies	Total	Mata					Total	Lavoura					Total
		L1	L2	L3	PA	L1		L2	L3	PA			
<b>Bufonidae</b>													
<i>Melanophryniscus devincenzii</i> Klappenbach, 1968	41	1	2	4	0	7	9	23	2	0	34		
<i>Rhinella henseli</i> (Lutz, 1934)	24	6	5	6	0	17	2	3	2	0	7		
<i>Rhinella icterica</i> (Spix, 1824)	72	8	12	18	0	38	9	19	6	0	34		
<b>Brachycephalidae</b>													
<i>Ischnocnema henselii</i> (Peters, 1870)	21	6	6	9	0	21	0	0	0	0	0		

**Hylidae**

<i>Boana curupi</i> (Garcia, Faivovich e Haddad, 2007)	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
<i>Dendropsophus minutus</i> (Peters, 1872)	38	0	0	0	28	28	0	0	0	10	10
<i>Scinax fuscovarius</i> (Lutz, 1925)	9	0	0	0	2	2	1	2	3	1	7
<i>Scinax granulatus</i> (Peters, 1871)	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
<i>Scinax perereca</i> Pombal, Haddad e Kasahara, 1995	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0

**Leptodactylidae**

<i>Leptodactylus fuscus</i> (Schneider, 1799)	2	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2
<i>Leptodactylus latrans</i> (Steffen, 1815)	2	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1
<i>Leptodactylus mystacinus</i> (Burmeister, 1861)	21	2	2	1	5	10	0	5	2	4	11
<i>Leptodactylus plaumanni</i> Ahl, 1936	79	10	11	23	2	46	11	11	8	3	33
<i>Physalaemus biligonigerus</i> (Cope, 1861)	4	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4
<i>Physalaemus cuvieri</i> Fitzinger, 1826	70	4	3	9	0	16	18	24	12	0	54
<i>Physalaemus gracilis</i> (Boulenger, 1883)	272	62	34	73	1	170	50	33	19	0	102
<i>Physalaemus lisei</i> Braun e Braun, 1977	4	0	0	1	0	1	1	2	0	0	3

**Microhylidae**

<i>Elachistocleis bicolor</i> (Guérin-Méneville, 1838)	4	1	0	2	0	3	1	0	0	0	1
--	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

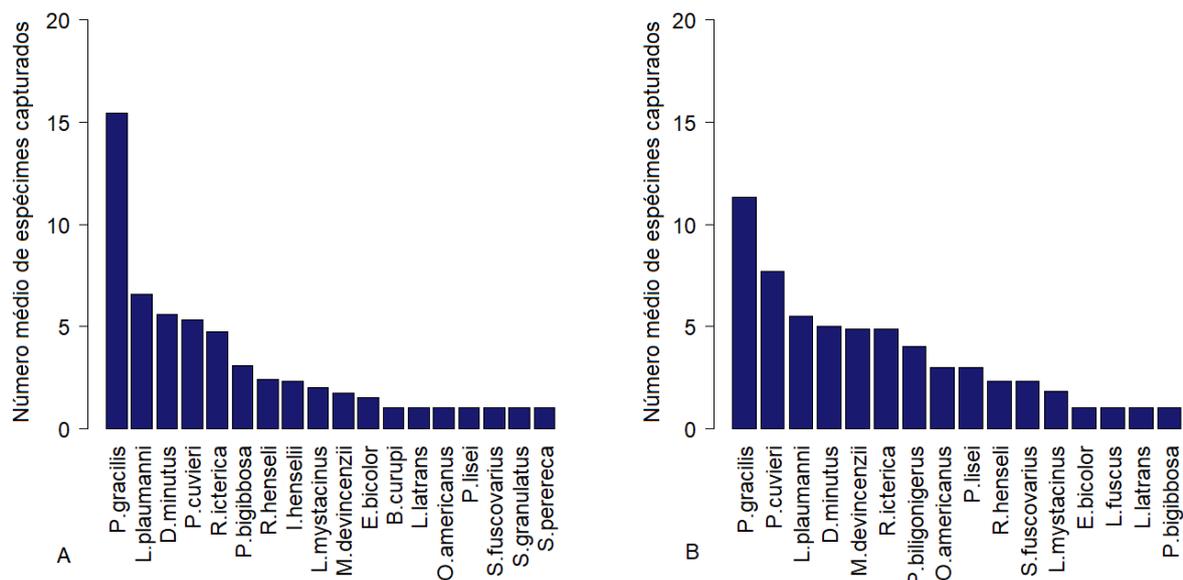
**Odontophrynidae**

<i>Odontophrynus americanus</i> (Duméril e Bibron, 1841)	14	0	2	0	0	2	3	3	6	0	12
<i>Proceratophrys bigibbosa</i> (Peters, 1872)	32	11	2	18	0	31	1	0	0	0	1

<b>Total geral</b>	<b>712</b>	<b>112</b>	<b>79</b>	<b>165</b>	<b>40</b>	<b>396</b>	<b>106</b>	<b>125</b>	<b>62</b>	<b>23</b>	<b>316</b>
--------------------	------------	------------	-----------	------------	-----------	------------	------------	------------	-----------	-----------	------------

L1, distância de 50 metros da borda; L2, distância de 250 metros da borda; L3, distância de 450 metros da borda;

PA, método de procura ativa.



**Figura 1** – Número médio de espécimes coletados por mês nos diferentes ambientes a cada mês. A, mata nativa e B, lavoura.

### *Atributos ecológicos e morfológicos*

Foram reconhecidos cinco modos reprodutivos (MR) para as espécies coletadas, sendo três deles relacionados a espécies que ovipositam em ambientes aquáticos (MR 1, 2 e 11) e dois relacionados a espécies que ovipositam em ambientes terrestres (MR 23 e 30). O MR 23 da espécie *I. henselii* foi o único que ocorreu exclusivamente na mata nativa. A maioria das espécies registradas possui hábito terrícola (50%), com padrão reprodutivo prolongado (55%) e foi classificada como rara (40%) ou generalista (35%), enquanto a menor parte das espécies é considerada fossorial (5%) e especialista de mata (10%, material suplementar, tabela S2).

Dos 712 indivíduos coletados, 297 possuíam CRC inferior ao descrito para adultos, assim as análises foram realizadas com as informações dos 415 indivíduos restantes. Atributos morfológicos tiveram uma grande variação nos valores entre as diferentes unidades amostrais. CRC teve uma amplitude entre 20,82 a 79,49 mm em indivíduos considerados adultos, enquanto o comprimento da tíbia variou entre 7,02 a 35,73 mm e a condição corporal de 0,31 a

32,57 (Tabela 3). Os três atributos morfológicos apresentaram diferenças significativas entre as unidades amostrais (Tabela 4, *post hoc* material suplementar Tabela S3).

**Tabela 3** – Variação das medidas morfológicas de anfíbios entre diferentes ambientes e distâncias

	Mata				Lavoura			
	50	250	450	PA	50	250	450	PA
<b>CRC</b>	23,06-76,89 34,32±10,89	21,90-71,47 36,02±13,29	22,74-63,28 34,25±8,22	21,33-54,31 29,58±10,23	20,84-57,15 31,31±7,83	20,82-79,49 31,30±9,72	22,10-55,25 36,37±9,55	21,53-58,46 35,01±12,88
<b>CC</b>	1,15-28,82 5,13±5,99	1,60-28,61 6,73±7,12	1,05-27,54 5,18±4,85	0,31-18,72 3,78±5,13	0,76-23,37 4,26±4,80	0,46-25,65 3,85±4,60	0,96-32,57 7,35±7,45	0,74-18,39 5,62±5,82
<b>CT</b>	7,23-33,55 15,30±5,16	8,26-31,53 17,23±4,81	8,04-35,76 17,54±5,69	9,23-25,50 15,11±4,05	7,02-37,94 14,64±5,12	10,81-27,24 14,63±5,98	8,36-24,68 17,29±4,29	11,40-30,68 18,11±6,74

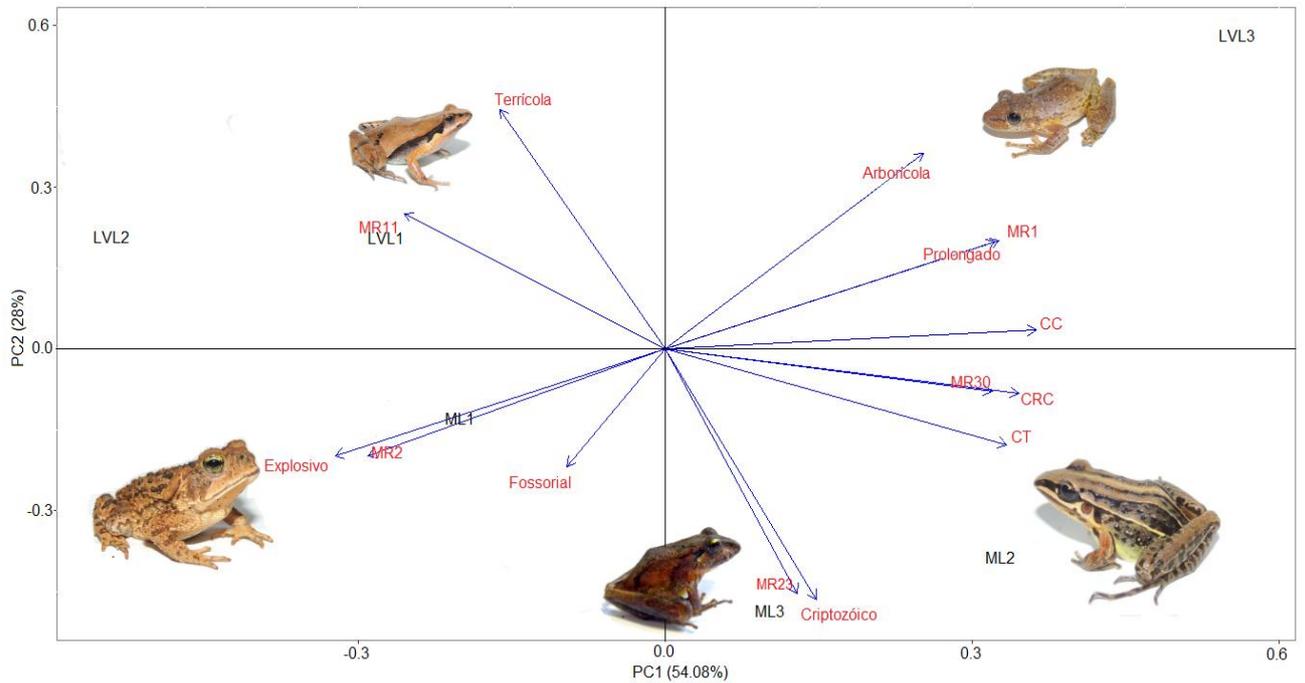
Amplitude seguida de média e desvio padrão.

**Tabela 4** – Comparação das medidas morfológicas de anfíbios entre as diferentes unidades amostrais por Kruskal Wallis

Atributo	x <sup>2</sup>	gl	p
<b>CRC</b>	36,57	7	<0.001
<b>CC</b>	42,16	7	<0.001
<b>CT</b>	36,26	7	<0.001

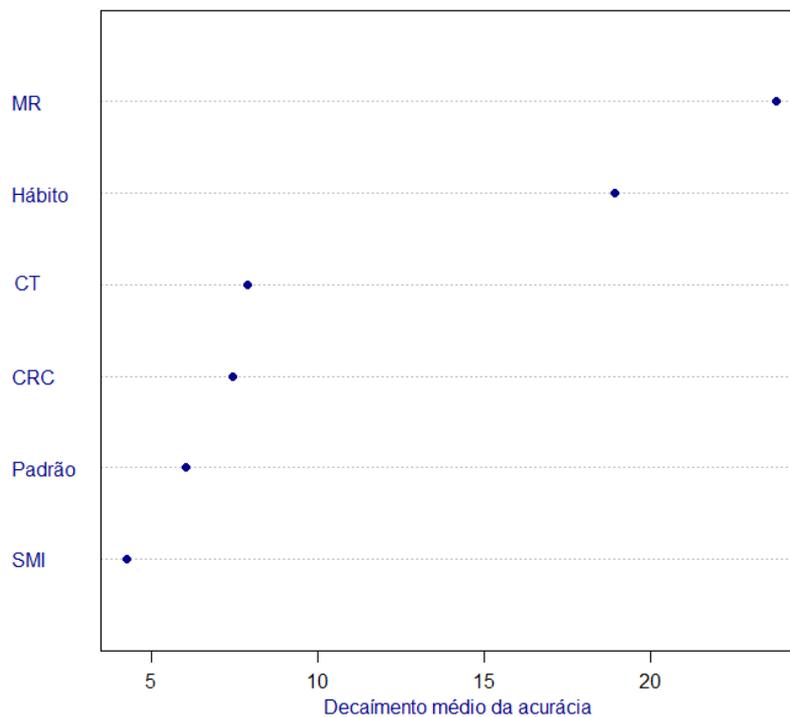
X<sup>2</sup>, qui-quadrado; gl, graus de liberdade e p, valor de p.

O primeiro eixo da PCA foi responsável por separar as distâncias mais longas tanto da matriz quanto mata dos locais com menores distâncias da borda, enquanto o segundo eixo separou os diferentes ambientes (lavoura e mata). Juntos os dois primeiros componentes explicaram 82,08% da variação total dos dados. Através da ordenação observou-se uma tendência em espécies arborícolas com reprodução prolongada e com o modo reprodutivo 1 estarem mais associadas com a maior distância dentro da lavoura, enquanto espécies criptozóicas e fossoriais estariam mais associadas a ambientes florestais. Além disso, indivíduos com CRC, CT e CC maiores também apresentaram uma maior relação as maiores distâncias tanto na lavoura quanto na mata (Figura 2).



**Figura 2** – Análise de componentes principais exibindo as relações entre diferentes atributos ecológicos e morfológicos de anuros com as unidades amostrais. LVL1, 50 metros da borda na lavoura; LVL2, 250 metros da borda na lavoura; LVL3, 450 metros da borda na lavoura; ML1, 50 metros da borda na mata; ML2, 250 metros da borda na mata; ML3, 450 metros da borda na mata.

Nosso modelo de RF teve uma acurácia de 67,73%, podendo verificar que dentre as características mensuradas os atributos ecológicos modo reprodutivo e hábito foram as variáveis mais importantes para a ocorrência dos anuros na lavoura, sendo seguidos pelo comprimento da tíbia (Figura 3).



**Figura 3** – Importância de cada atributo ecológico e morfológico para a ocorrência dos anfíbios na lavoura. Valores maiores correspondem a uma queda no valor de acurácia do modelo ao retirar o atributo em questão.

## Discussão

As transformações de áreas naturais em ambientes alterados como a agricultura estão entre as principais ameaças a biodiversidade, porém os diferentes grupos animais podem responder de distintas maneiras a estes processos (Cushman 2005, Gascon et al 1999). Em comparação com o único trabalho para a área de mata do PNMS, corroboramos com 18 de 23 espécies conhecidas para o PNMS e adicionamos a ocorrência de dois hilídeos, *Scinax granulatus* e *S. perereca*. Além disso, das espécies encontradas no interior do fragmento por Zanella et al (2013) apenas não foram registradas na matriz *Ischnocnema henselii* e *Boana curupi* indicando que grande parte das espécies conseguem ocupar os ambientes circundantes. Ainda são poucos os trabalhos que avaliaram a ocorrência dos anuros nos sistemas agrícolas (Attademo et al 2005, Peltzer et al. 2006, Dixo & Metzger 2010). Contrariando a nossa

expectativa, o alto número de espécies e indivíduos, tanto jovens quanto adultos encontrados na matriz agrícola ao longo de quase todo o período de amostragem, demonstra que mesmo sendo um ambiente mais homogêneo e instável, a matriz pode ser permeável para muitas espécies e indivíduos, podendo ser capaz de abrigar populações de anfíbios (Attademo et al. 2005, Faria et al. 2007).

O fato de a região de estudo estar inserida nos domínios da Floresta Ombrófila Mista, que originalmente é distribuída em mosaicos de campo e floresta (Boldrini et al. 2009) também pode explicar o porque da maior parte das espécies registradas ser típica de ambientes abertos, bem como ocorrer tanto em formações florestais quanto campestres (generalistas e especialistas de matriz) (Haddad et al 2013). Além disso, algumas espécies de aves, mamíferos e anfíbios, principalmente as generalistas e naturais de habitats abertos podem ser favorecidas com os processos de alteração ambiental pela disponibilidade de recursos, ocupando estas novas áreas. (Attademo et al. 2005, Dotta & Verdade 2007, Condez 2008, Bruscin et al. 2014, Silva et al. 2015).

Embora espécies florestais com desenvolvimento larval aquático sejam mais sensíveis a desconexão de seus habitats (Becker et al. 2007) e, portanto, neste sentido deveriam ter uma menor ocorrência fora de seus habitats naturais (Gascon et al 1999), nossos resultados mostram o contrário, uma maior proporção destas espécies ocupando a matriz agrícola. Este padrão também foi verificado por Dixo e Metzger (2010) que encontraram uma maior presença destas espécies em diferentes sistemas agrícolas, isto pode ser devido ao fato que estas espécies muitas vezes têm que sair em busca de habitats reprodutivos que já não existem mais em alguns fragmentos. Dessa forma nossos resultados suportam a ideia de que atributos de espécies, como a preferência de habitat e modo reprodutivo são importantes na determinação da presença de espécies em ambientes alterados.

Por outro lado, a ausência de espécies na lavoura que utilizam a serapilheira como sítio de oviposição e que possuem desenvolvimento direto, como é o caso da *I. henselii* não significa necessariamente menor sensibilidade as alterações ambientais, mas que talvez essa espécie não necessite encontrar locais para a sua reprodução fora dos ambientes florestais (Becker et al. 2007, Dixo & Metzger 2010). Além disso, as espécies podem perceber o ambiente diferentemente do olhar humano, podendo utilizar as matrizes como habitats adequados para a reprodução bem como para forrageio (Henle et al. 2004, Attademo et al. 2005). Neste sentido, podemos verificar que os anuros utilizam ambientes ou não dependendo em parte de seus modos reprodutivos, o que pode explicar a importância dos modos reprodutivos para a ocorrência de anfíbios na lavoura aqui observada.

A intensificação da agricultura também leva a uma homogeneidade da paisagem principalmente quando se trata de monoculturas, como é o caso da nossa matriz amostrada (Tschardt et al. 2005). Espécies fossoriais e criptozóicas podem ter a capacidade de resistência reduzida nestes ambientes em virtude principalmente da compactação do solo, bem como alteração do tipo de cobertura vegetal (Russell & Bauer 2000). Por outro lado, assim como prevíamos, as espécies terrícolas foram associadas aos dois ambientes sugerindo assim um menor impacto dos sistemas agrícolas para estas espécies. Para Nomura (2008), as espécies terrícolas estão relacionadas com a simplificação do habitat (neste caso homogeneização) principalmente em virtude da alta disponibilidade de recursos que estes ambientes oferecem. No entanto, também verificamos a relação de espécies arborícolas com o ambiente de matriz agrícola, grupo de espécies que é conhecido por ser mais sensíveis a fragmentação e tolerar menos os ambientes de matriz (Vallan 2000).

Além disso, o tipo de vegetação da matriz também pode alterar os padrões de diversidade e abundância de espécies nos fragmentos florestais que estão imersos nestas áreas, bem como estabelecer o tamanho do poro para o filtro a dispersão dos indivíduos

(D'Anunção et al. 2013, Gascon et al. 1999). Desse modo, os diferentes processos de conversão das áreas naturais podem selecionar diferentes morfologias (Steinicke et al. 2015). Variações no tamanho e condição corporal e nos membros locomotores de indivíduos em resposta a diferentes níveis de cobertura vegetal já foram descritos para diferentes grupos animais (Battles et al. 2013, Deikumah et al. 2015, Lomolino & Perault 2007, Steinicke et al. 2015). Embora a maioria indique que em ambientes mais adversos haja uma tendência na redução destes atributos, identificamos diferenças morfológicas entre os indivíduos capturados nas diferentes distâncias, sendo que indivíduos com maior tamanho de tíbia foram relacionados com a maior distância dentro da matriz (450 metros da borda da mata), indicando uma maior capacidade de estes indivíduos chegarem a ambientes mais distantes da mata, como esperado pelas nossas previsões e demonstrado por Phillips et al (2016).

Desse modo, salientamos que a determinação do uso de habitats não naturais por anuros pode ser mediada principalmente por atributos ecológicos, como o modo reprodutivo e o hábito, mas também por suas características morfológicas, uma vez que estão relacionadas à sua capacidade de dispersão. Também indicamos a realização de trabalhos em ambientes modificados com diferentes tipos de cobertura vegetal e em maiores escalas para maiores esclarecimentos da relação de atributos com estes processos de transformação da paisagem.

## **Referências**

- AMPHIBIAWEB. 2018. AmphibiaWeb. Disponível em: <https://amphibiaweb.org>. University of California, Berkeley.
- ANDERSON, M.J., 2001. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecology*. 26:32-46.
- ANDRÉN, H. 1994. Effects of habitat fragmentation on birds and mammals in landscapes with different proportions of suitable habitat: a review. *Oikos*. 71:355-366.

- ARAÚJO, O.G.S., TOLEDO, L.F., GARCIA, P.C.A. & HADDAD C.F.B. 2009. The amphibians of São Paulo State, Brazil amphibians of São Paulo. *Biota Neotropica*. 9:197-209.
- ATTADEMO, A.M., PELTZER, P.M. & LAJMANOVICH, R.C. 2005. Amphibians occurring in soybean and implications for biological control in Argentina. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 106:389-394.
- BATTLES, A.C. WHITTKE, T.K., STEHLE, C.M. & JOHNSON, M.A. 2013. Effects of Human Land Use on Prey Availability and Body Condition in the Green Anole Lizard, *Anolis Carolinensis*. *Herpetological Conservation and Biology*. 8(1):16-26.
- BECKER, C.G. FONSECA, C.R., HADDAD, C.F.B., BATISTA, R.F. & PRADO, P.I. 2007. Habitat Split and the Global Decline of Amphibians. *Science*. 318:1775-1777.
- BENSON, T.J. & BEDNARZ, J.C. 2010. Relationship Among Survival, Body Condition, and Habitat of Breeding Swainson's Warblers. *The Condor* 112(1):138-148.
- BERTOLUCI, J. 1998. Annual Patterns of Breeding Activity in Atlantic Rainforest Anurans. *Journal of Herpetology*. 32(4):607-611.
- BOLDRINI, I.I.(Org). 2009. Biodiversidade dos campos do planalto das araucárias. Ministério do Meio Ambiente, Brasília.
- BONGAARTS, J. 2009. Human population growth and the demographic transition. *Phil. Trans. R. Soc.* 365:2985-2990.
- BREIMAN, L. 2001. Random Forests. *Machine Learning*. 5-32.
- BROOKS, T.M, MITTERMEIER, R.A., MITTERMEIER, C.G., FONSECA, G.A.B., RYLANDS, A.B., KONSTANT, W.R., FLICK, P., PILGRIM, J., OLDFIELD, S., MAGIN, G. & HILTON-TAYLOR, C. 2002. Habitat Loss and Extinction in the Hotspots of Biodiversity. *Conservation Biology*. 16(4):909-923.

- BRUSCAGIN, R.T., CONDEZ, T.H., DIZO., M. & BERTOLUCI, J. 2014. Diversity of leaf-litter anurans in a fragmented landscape of the Atlantic Plateau of São Paulo, southeastern Brazil. *Journal of Natural History*. 1-16.
- BUREL, F. & BAUDRY, J. 2003. *Landscape Ecology: Concepts, Methods and Applications*. CRC Press, Boca Ratón.
- CECHIN, S.Z. & MARTINS, M. 2000. Eficiência de armadilhas de queda (*pitfall traps*) em amostragens de anfíbios e répteis no Brasil. *Revta bras. Zool.* 17(3):729-740.
- CHAZDON, R.L., CHAO, A., COLWELL, R.K., LIN, S.Y., NORDEN, N., LETCHER, S.G., CLARK, D.B., FINEGAN, B. & ARROYO, P.J. 2011. A novel statistical method for classifying habitat generalists and specialists. *Ecology*. 92(6):1332-1343.
- CLINE, B.B. & HUNTER JR, M.L. 2014. Different open-canopy vegetation types affect matrix permeability for a dispersing forest amphibian. *Journal of Applied Ecology*. 51:319-329.
- COHEN, J.E. 2003. Human Population: The Next Half Century. *Science*. 302:1172-1175.
- CONDEZ, T.H. 2008. Efeitos da fragmentação da floresta na diversidade e abundância de anfíbios anuros e lagartos de serapilheira em uma paisagem do Planalto Atlântico de São Paulo. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) – Instituto Butantã, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- CUSHMAN, S.A. 2005. Effects of habitat loss and fragmentation on amphibians: A review and prospectus. *Biological Conservation*. 128:231-240.
- CUTLER, D.R., EDWARDS JR, T.C., BEARD, K.H., CUTLER, A., HESS, K.T., GIBSON, J. & LAWLER, J.J. 2007. Random Forests for Classification in Ecology. *Ecology*. 88(11):2873-2792.
- D'ANUNCIÇÃO, P.E.R, SILVA, M.F.V, FERRANTE, L., ASSIS, D.S., CASAGRANDE, T., COELHO, A.Z.G., AMÂNCIO, B.C.S, PEREIRA, T.R. & DA SILVA, V.X. 2013. Forest fragments surrounded by sugar cane are more inhospitable to terrestrial amphibian abundance than fragments surrounded by pasture. *International journal of ecology*. 1-18.

- DEBASTANI, V.J. & PILLAR, V.D. 2012. SYNCOSA – R tool for analysis of metacommunities based on functional traits and phylogeny of the Community components. *Bioinformatics* 28:2067-2068.
- DEIKUMAH, J.P., MCALPINE, C.A. & MARON, M. 2015. Matrix Intensification Affects Body and Physiological Condition of Tropical Forest-Dependent Passerines. *PlosOne*. 10(6):1-17.
- DEVICTOR V., JULLIARD, R & JIGUET. 2008. Distribution of specialist and generalist species along spatial gradients of habitat disturbance and fragmentation. *Oikos*. 117:507-514.
- DIXO, M. & METZGER, J.P. 2010. The matrix-tolerance hypothesis: an empirical test with frogs in the Atlantic Forest. *Biodivers Conserv*. 19:3059-3071.
- DOTTA, G. & VERDADE, L.M. 2007. Trophic categories in mammal assemblage: diversity in an agricultural landscape. *Biota Neotrop*. 7(2)287-292.
- FARIA, D., PACIENCIA, M.L.B., DIXO, M., LAPS, R.R. & BAUMGARTEN, J. 2007. Ferns, frogs, lizards, birds and bats in forest fragments and shade cacao plantations in two contrasting landscapes in the Atlantic forest, Brazil. *Biodivers. Conserv*. 16:2335–2357
- FICETOLA, G.F. & BERNARDI F.D. 2003. Amphibians in a human-dominated landscape: the community structure is related to habitat features and isolation. *Biological Conservation*. 119(2004):219-230.
- FREITAS, E.B. DE, DE-CARVALHO, C.B., FARIA, R.G., BATISTA, R.D.C., BOCCHIGLIERI, A., ELZE, J.R., RIBEIRO, C.D. & NORTE, A. 2008. Nicho ecológico e aspectos da história natural de *Phyllomedusa azurea* (Anura: Hylidae, Phyllomedusinae) no Cerrado do Brasil Central. *Biota Neotropica*. 8:2-11.
- GASCON, C., LOVEJOY, T.E., BIERREGAARD JR, R.O., MALCOLM, J.R., STOUFFER, P.C., VASCONCELOS, H.L., LAURANCE, W.F., ZIMMERMAN, B., TOCHER, M. & BORGES, S. 1999. Matrix habitat and species richness in the tropical forest remnants. *Biological Conservation*. 91:223-229.

- GIBBS, J.P. 1997. Distribution of woodland amphibians along a forest fragmentation gradient. *Landscape Ecology*. 13:263-268.
- HADDAD, C.F.B., TOLEDO, L.F., PRADO, C.P.A., LOEBMANA, D., GASPARINI, J.L. & SAZIMA, I. 2013. *Guia dos Anfíbios da Mata Atlântica: Diversidade e Biologia*. Anolis Books, São Paulo.
- HENLE, K., DAVIES, K.F., KLEYER, M., MARGULES, C. & SETTELE, J. Predictors of species sensitivity to fragmentation. *Biodiversity and Conservation*. 13:207-251.
- HERMES, C., DÖPPER, A., SCHAEFER, H.M. & SEGELBACHER, G. 2016. Effects of forest fragmentation on the morphological and genetic structure of a dispersal-limited, endangered bird species. *Nature Conservation*. 16:39-58.
- HIRSCHFELD, M. & RÖEDEL, M.O. What makes a successful species? Traits facilitating survival in altered tropical forests. *BMC Ecol*. 17-25.
- IRIONDO, M.H., PAGGI, J.C. & PARMA, M.J. (Eds). *The Middle Parana River Limnology of a Subtropical Wetland*. Springer, Santa Fé.
- KENNEDY, C.M., MARRA, P.P., FAGAN, W.F. & NEEL, M.C. 2010. Landscape matrix and species traits mediate responses of Neotropical resident birds to forest fragmentation in Jamaica. *Ecological Monographs*. 80(4):651-669.
- KNAPP, M. & KNAPPOVÁ, J. 2012. Measurement of body condition in a common carabid beetle, *Poecilus cupreus*: a comparison of fresh weight, dry weight, and fat content. *Journal of Insect Science*. 13:1-10.
- KUPFER, J.A., MALANSON, G.P. & FRANKLIN, S.B. 2006. Not seeing the ocean for the islands: the mediating influence of matrix-based processes on forest fragmentation effects. *Global Ecol. Biogeogr*. 15:8-20.

- KWET, A., LINGNAU, R. & DI-BERNARDO, M. 2010. Pró Mata: anfíbios da Serra Gaúcha, sul do Brasil – Amphibien der Serra Gaúcha, südbrasilien – Amphibians of the Serra Gaúcha, South Brazil. Brasilien-Zentrum, University of Tübingen. Alemanha.
- LAGOS, A. & MULLER, B.L. 2007. Hotspot Brasileiro Mata Atlântica. Saúde e ambiente em revista. 2:35-47.
- LIAW, A. & WIENER, M. 2002. Classification and Regression by randomForest. R News 2(3):18:22.
- LOMOLINO, M.V. & PERAULT, D.R. 2007. Body Size Variation of Mammals in a Fragmented, Temperate Rainforest. Conservation Biology. 21(4):1059-1069.
- MACHADO, I.F. 2011. Diversidade e conservação de anuros em áreas úmidas costeiras no sul do Brasil. Tese (Doutorado em Biologia). UNISINOS.
- MCGILL, B.J., ENQUIST, B.J., WEIHER, E. & WESTOBY, M. 2006. Rebuilding Community ecology from functional traits. Trends in Ecology and Evolution. 21(4): 178-185.
- MEDEIROS, J.D., SAVI, M. & BRITO, B.F.A. 2005. Seleção de áreas para criação de Unidades de Conservação na Floresta Ombrófila Mista. Biotemas 18: 33-50.
- MORELLATO, P.L.C. 2000. Introduction: The Brazilian Atlantic Forest. Biotropica 32(4b):786-792.
- MURRAY, K.A., ROSAUER, D., MCCALLUM, H. & SKERRATT, L.F. 2010. Integrating species traits with extrinsic threats: closing the gap between predicting and preventing species declines. Proc. R. Soc. B. 1-9.
- MYERS, N., MITTERMEIER, R.A., MITTERMEIER, C.G., FONSECA, G.A.B. & KENT, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. Nature 403: 853-858.
- NEWBOLD, T., HUDSON, L.N., PHILLIPS, H.R.P., HILL, S.L.L., CONTU, S., LYSENKO, I., BLANDON, A., BUTCHART, S.H.M., BOOTH, H.L., DAY, J., DE PALMA, A., HARRISON, M.L.K., KIRKPATRICK, L., PYNEGAR, E., ROBINSON, A., SIMPSON, J. & MACE, G.M.

2014. A global model of the response of tropical and sub-tropical forest biodiversity to anthropogenic pressures. *Proc. R. Soc.* 281:1-10.
- NOMURA, F. 2008. Padrões de diversidade e estrutura de taxocenoses de anfíbios anuros: Análise em multi-escala espacial. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
- OLIVEIRA, V.F. 2015. Distribuição espaço-temporal de anfíbios anuros em uma localidade da serra do sudeste, Pampa Gaúcho. Monografia (Bacharelado em Ciências Biológicas). UNIPAMPA, São Gabriel.
- OKSANEN, J., BLANCHET, F.G., FRIENDLY, M., KINDT, R., LEGENDRE, P., MCGLINN, D., MINCHIN, P.R., O'HARA, R.B., SIMPSON, G.L., SOLYMOS, P., STEVENS, M.H.H., SZOECS, E. & WAGNER, H. 2017. *vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.4-4.
- OLIVEIRA, E.F., FEIO, R.N. & MATTA, S.L.P. 2007. Aspectos reprodutivos de *Dendropsophus minutus* (Peters, 1872) no município de Viçosa, Minas Gerais. *Ceres*. 54(313):230-238.
- OLIVEIRA FILHO, A.T., JARENKOW, J.A. & RODAL, M.J.N. 2006. Floristic relationships of seasonally dry forests of eastern South America based on tree species distribution patterns. In: PENNINGTON, R.T., LEWIS, G. P. & RATTER, J. A. (Eds). *Neotropical Savannas and Dry Forest: Plant Diversity, Biogeography and Conservation*. CRC Press, Boca Raton, p. 159-192.
- PAHARI, K. & MURAI, S. 1999. Modelling for prediction of global deforestation based on the growth of human population. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*. 54:317-324.
- PEIG, J. & GREEN, A.J. 2009. New perspectives for estimating body condition from mass/length data: the Scaled mass index as an alternative method. *Oikos*. 118:1883-1891.
- PELTZER, P.M. & LAJMANOVICH, R.C. 2001. Habitat Fragmentation and amphibian species richness in riparian areas of the Parana River, Argentina. *Froglog*. 46:3-4.

- PELTZER, P.M., LAJMANOVICH, R.C., ATTADEMO, A.M. & BELTZER, A. 2006. Diversity of Anurans Across Agricultural Ponds in Argentina. *Biodiversity and Conservation*. 15(11):3499-3513.
- PERFECTO, I. & VANDERMEER, J. 2008. Biodiversity Conservation in Tropical Agroecosystems A New Conservation Paradigm. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 1134:173-200.
- PHILLIPS, B.L., BROWN, G.P., WEBB, J.K & SHINE. R. 2006. Invasion and the Evolution of speed in toads. *Nature*. 439:1.
- PODGAISKI, L.R., MENDONÇA, M.S. & PILLAR, V. 2011. O uso de atributos funcionais de invertebrados terrestres na ecologia: O que, como e por quê? *Oecologia Australis*. 15(4):835-853.
- PRADO, C.P.A. & HADDAD, C.F.B. 2005. Size-fecundity relationships and reproductive investment in female frogs in the Pantanal, South-western Brazil. *Herpetological Journal*, 15:181-189.
- PRADO, C.P.A., UETANABARO, M. & HADDAD, C.F.B. 2005. Breeding activity patterns, reproductive modes, and habitat use by anurans (Amphibia) in a seasonal environment in the Pantanal, Brazil. *Amphibia-Reptilia*. 26:211-221.
- PRIMACK, R., B. & RODRIGUES, E. 2001. *Biologia da Conservação*. Vida, Londrina.
- R CORE TEAM. 2017. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna.
- RIBEIRO, J., COLLI, G. R., CALDWELL, J. & SOARES, A.M.V.M. 2016. Na integrated trait-based framework to predict extinction risk and guide conservation planning in biodiversity hotspots. *Biological Conservation*. 195:214-223.
- RIBEIRO, M.C., METZGER, J.P., MARTENSEN, A.C., PNZONI, F.J. & HIROTA, M.M. 2009. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. *Biological Conservation*. 142. 142:1141-1153.

- ROBERTSON, O.J. & RADFORD, J.Q. 2009. Gap-crossing decisions of forest birds in a fragmented landscape. *Austral Ecology*. 34:435-446.
- RUSSELL A.P. & BAUER, A.M. 2000. *The amphibians and reptiles of Alberta: A field guide and primer of boreal herpetology*. 2 ed. University of Calgary Press, Calgary.
- SEGALLA, M.V., CARAMASCHI, U., CRUZ., C.A.G., GRANT, T., HADDAD, C.F.B., GARCIA, P.C.A.G., BERNECK, B.V.M. & LANGONE, J.A. 2016. Brazilian Amphibians: List of Species. *Herpetologia Brasileira*. 5(2):34-46.
- SILVA, T.W., DOTTA, G. & FONTANA, C.S. 2015. Structure of avian assemblages in grasslands associated with cattle ranching and soybean agriculture in the Uruguayan savanna ecoregion of Brazil and Uruguay. *The Condor*. 115:53-63.
- SLAVIERO, L.B. 2009. Criação do Parque Natural Municipal de Sertão. In TEDESCO, C. & ZANELLA, N. (Orgs). *Parque Natural Municipal de Sertão*. UPF Editora, Passo Fundo, p.15-29.
- SODHI, N.S., BICKFORD, D., DIEMOS, A.C., LEE, T.M., KOH, L.P., BROOK, B.W., SEKERCIOGLU, C.H. & BRADSHAW, C.J.A. 2008. Measuring the Meltdown: Drivers of Global Amphibian Extinction and Decline. *PlosOne*.3(2):1-8.
- STEINICKE, H., GRUBER, B., GRIMM, A., GROSSE, W.R. & HENLE K. 2015. Morphological shifts in populations of generalist and specialist amphibians in response to fragmentation of the Brazilian Atlantic forest. *Nature Conservation*. 13:47-59.
- TABARELLI, M., PINTO., L.P., SILVA., J.M.C., HIROTA, M.M. & BEDÊ, L.C. 2005. Desafios e oportunidades para a conservação da biodiversidade na Mata Atlântica brasileira. *Megadiversidade*. 1(1):132-138.
- TILMAN, D., BALZER, C., HILL. & BEFORT, B.L. 2011. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *PNAS*. 108(50):20260-20264.

- TSCHARNTKE, T., KLEIN, A.M., KRUESS, A., STEFFAN-DEWENTER, I. & THIES, C. 2005. Landscape perspectives on a agricultural intensification and biodiversity – ecosystem services management. *Ecology Letters*. 8:857-874.
- VALLAN, D. 2000. Influence of forest fragmentation on amphibian diversity in the nature reserve of Ambohitantely, highland Madagascar. *Biol. Conserv*, 96:31-43.
- WELLS, K.D. 1977. The Social Behavior of Anuran Amphibians. *Anim. Behav.* 25:666-693.
- ZANELLA, N., PAULA, A., GUARAGNI, S.A. & MACHADO, L.S. 2013. Herpetofauna do Parque Natural Municipal de Sertão, Rio Grande do Sul, Brasil. *Biota Neotrop.* 14(4):290-298.

## Material suplementar

**Tabela S2** - Atributos ecológicos das espécies registradas no período de dezembro de 2016 a novembro de 2017 no município de Sertão, Rio Grande do Sul, Brasil

<b>Espécie</b>	<b>Hábito</b>	<b>MR</b>	<b>PR</b>	<b>Especialização</b>
<i>Boana curupi</i>	Arborícola <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	Prolongado <sup>g</sup>	Raro
<i>Dendropsophus minutus</i>	Arborícola <sup>a</sup>	1 <sup>a</sup>	Prolongado <sup>g</sup>	Generalista
<i>Elachistoclei bicolor</i>	Fossorial <sup>a</sup>	1 <sup>a</sup>	Explosivo <sup>e</sup>	Raro
<i>Ischnocnema henselii</i>	Criptozóico <sup>a</sup>	23 <sup>a</sup>	Prolongado <sup>g</sup>	Esp.Mata
<i>Leptodactylus mystacinus</i>	Terrícola <sup>a</sup>	30 <sup>a</sup>	Prolongado <sup>e</sup>	Generalista
<i>Leptodactylus fuscus</i>	Terrícola <sup>a</sup>	30 <sup>a</sup>	Prolongado <sup>f</sup>	Raro
<i>Leptodactylus latrans</i>	Terrícola <sup>a</sup>	11 <sup>a</sup>	Explosivo <sup>e</sup>	Raro
<i>Leptodactylus plaumanni</i>	Criptozóico <sup>a</sup>	30 <sup>a</sup>	Prolongado <sup>g</sup>	Generalista
<i>Melanophryniscus devincenzii</i>	Terrícola <sup>b</sup>	2	Explosivo <sup>g</sup>	Esp.Lavoura
<i>Odontophrynus americanus</i>	Terrícola <sup>a</sup>	1 <sup>a</sup>	Explosivo <sup>d</sup>	Esp.Lavoura
<i>Physalaemus biligonigerus</i>	Terrícola <sup>c</sup>	11 <sup>d</sup>	Explosivo <sup>f</sup>	Raro
<i>Physalaemus cuvieri</i>	Terrícola <sup>a</sup>	11 <sup>a</sup>	Prolongado <sup>g</sup>	Esp.Lavoura
<i>Physalaemus gracilis</i>	Terrícola <sup>c</sup>	11 <sup>d</sup>	Prolongado <sup>g</sup>	Generalista
<i>Physalaemus lisei</i>	Criptozóico <sup>a</sup>	11 <sup>a</sup>	Explosivo <sup>g</sup>	Raro
<i>Proceratophrys bigibbosa</i>	Criptozóico <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	Explosivo <sup>g</sup>	Esp.Mata
<i>Rhinella henseli</i>	Terrícola <sup>a</sup>	1 e 2 <sup>a</sup>	Explosivo <sup>g</sup>	Generalista
<i>Rhinella icterica</i>	Terrícola <sup>a</sup>	1 e 2 <sup>a</sup>	Explosivo <sup>g</sup>	Generalista
<i>Scinax fuscovarius</i>	Arborícola <sup>a</sup>	1 <sup>a</sup>	Prolongado <sup>h</sup>	Generalista
<i>Scinax granulatus</i>	Arborícola <sup>a</sup>	1 <sup>a</sup>	Prolongado <sup>g</sup>	Raro
<i>Scinax perereca</i>	Arborícola <sup>a</sup>	1 <sup>a</sup>	Prolongado <sup>g</sup>	Raro

<sup>a</sup>Haddad et al. 2013, <sup>b</sup>IUCN 2018, <sup>c</sup>Machado 2011, <sup>d</sup>Oliveira 2015, <sup>e</sup>Iriondo et al. 2007, <sup>f</sup>

Prado et al. 2005, <sup>h</sup>Bertoluci 1998, <sup>g</sup>Observações pessoais

**Tabela S3** – Diferenças entre atributos morfológicos entre unidades amostrais. *Post hoc* de Wilcoxon

	CRC	Lavoura			Mata			Lavoura PA
		50	250	450	50	250	450	
<b>Lavoura</b>	<b>50</b>	0.73						
	<b>450</b>	0.01	<0.01					
<b>Mata</b>	<b>50</b>	0.15	0.06	0.18				
	<b>250</b>	0.11	0.05	0.56	0.67			

	<b>450</b>	0.01	<0.01	0.44	0.56	0.97		
<b>Lavoura</b>	<b>PA</b>	0.97	0.78	0.51	0.73	0.73	0.69	
<b>Mata</b>	<b>PA</b>	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.47
	<b>CC</b>	<b>250</b>	<b>450</b>	<b>50</b>	<b>250</b>	<b>450</b>	<b>PA</b>	<b>PALV</b>
<b>Lavoura</b>	<b>LVL2</b>	0.31						
	<b>LVL3</b>	0.02	<0.01					
	<b>ML1</b>	0.76	0.19	0.05				
<b>Mata</b>	<b>ML2</b>	0.1	<0.01	0.54	0.17			
	<b>ML3</b>	0.12	<0.01	0.26	0.31	0.61		
<b>Lavoura</b>	<b>PALV</b>	0.84	0.84	0.26	0.54	0.26	0.37	
<b>Mata</b>	<b>PAM</b>	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.62
	<b>CT</b>	<b>250</b>	<b>450</b>	<b>50</b>	<b>250</b>	<b>450</b>	<b>PA</b>	<b>PALV</b>
<b>Lavoura</b>	<b>LVL2</b>	0.97						
	<b>LVL3</b>	<0.01	<0.01					
	<b>ML1</b>	0.56	0.65	<0.01				
<b>Mata</b>	<b>ML2</b>	<0.01	<0.01	0.75	<0.01			
	<b>ML3</b>	<0.01	<0.01	0.75	<0.01	0.87		
<b>Lavoura</b>	<b>PALV</b>	0.15	0.15	0.75	0.53	0.75	0.75	
<b>Mata</b>	<b>PAM</b>	0.68	0.79	0.01	0.78	<0.01	<0.01	0.55

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar de muito se discutir sobre conservação da biodiversidade, principalmente sobre conservação da anurofauna, o conhecimento sobre as verdadeiras características que fazem com que espécies sejam mais ou menos ameaçadas de extinção, bem como quais são responsáveis pela ocupação, resistência e sobrevivência de espécies em ambientes alterados ainda é pouco explorado. Embora esta dissertação envolva diferentes escalas espaciais, ambos os capítulos apresentam certa complementaridade. No primeiro capítulo destacamos que o habitat é o principal preditor de risco de ameaça e declínio populacional dos anfíbios enquanto no segundo buscamos entender como os atributos estariam associados à conversão do habitat natural em uma lavoura de culturas anuais no sul do Brasil.

Além disso, em ambos os capítulos verificamos a importância dos modos reprodutivos dos anuros. Nossos resultados do primeiro capítulo indicam que espécies neotropicais com modos reprodutivos terrestres e desenvolvimento direto, além de ocorrerem em ambientes de altitude, apresentam uma maior tendência a serem mais ameaçadas em comparação a espécies com modos reprodutivos aquáticos. Enquanto no segundo capítulo não verificamos a ocorrência de espécies com desenvolvimento direto fora da área de mata nativa, que por sua vez, corresponde a uma floresta de altitude (Floresta Ombrófila Mista). Isto pode sugerir a possibilidade de que estas espécies apresentem certa sensibilidade a perda de habitat e consequente aumento do declínio populacional e risco de extinção.

Embora em nosso primeiro capítulo tenhamos verificado que o tamanho corporal não seja tão importante para a classificação do risco de ameaça e declínio populacional de anuros neotropicais, no segundo capítulo constatamos diferenças morfológicas associadas a diferentes distâncias do ambiente florestal, sugerindo que atributos morfológicos como o tamanho corporal e de membros (tíbia) podem ser fundamentais na determinação do uso de

habitats não naturais pelos anuros. Assim, recomendamos que trabalhos futuros busquem também entender estas relações em escalas maiores, bem como outros diferentes tipos de cobertura do solo e regiões.

Por fim, nossos resultados são de grande importância, pois demonstram quais os tipos de espécies estão mais sujeitos à extinção e declínio populacional, bem como quais conseguem utilizar os ambientes convertidos. Desta forma estes resultados podem ser úteis na tomada de decisões de planos e projetos para a conservação da anurofauna neotropical, uma vez que ao se conhecer os potenciais preditores de risco de ameaça e declínio populacional, ações preventivas podem ser tomadas, especialmente sobre espécies que ocupam habitats de altitude e com desenvolvimento direto.

