

Distribuição potencial de *Leptodactylus bufonius* na Bacia do Alto Paraguai em cenários futuros de mudanças climáticas

Renan Willian Rodrigues Lorenson¹,

renanlorenson@outlook.com

Rafaella Amorim²

rafaellamorim@outlook.com.br

Matheus Oliveira Neves³

nevesmo@yahoo.com.br

Universidade Federal de Mato Grosso

INTRODUÇÃO. Áreas úmidas, como a Bacia do Alto Paraguai (BAP) que engloba as planícies alagáveis do Pantanal e do Chaco, são regiões fundamentais para a preservação das populações de anfíbios (ZAMBERLETTI *et al.*, 2018). Elas possuem habitats adequados para a reprodução e desenvolvimento de jovens (SEMLITSCH *et al.*, 2000), servindo também como área de conectividade entre ecorregiões para algumas espécies (ZAMBERLETTI *et al.*, 2018). Por exemplo, *Leptodactylus bufonius* Boulenger, 1894 é uma espécie tipicamente do Chaco e que já foi registrado até o norte do Pantanal, no estado do Mato grosso (SILVA-ALVES *et al.*, 2023). A espécie é um anuro da família Leptodactylidae (SCHNEIDER *et al.*, 2021), que está distribuída em regiões da Bolívia, norte da Argentina, centro-oeste do Paraguai, e no Mato Grosso do Sul e Mato Grosso no Brasil (SILVA-ALVES *et al.*, 2023). Segundo Faggioni *et al.* (2014) a espécie habita o Chaco e regiões semelhantes a savana na América do Sul, preferindo regiões de terra seca com gramas baixas. De acordo com Dure e Kehr (2004), estudos apontam que a presença de *L. bufonius* está correlacionada com variáveis bioclimáticas, como temperatura e precipitação. Conforme estudos climáticos, estima-se que até o final do século, as temperaturas no Pantanal podem aumentar até 7°C, e os níveis de chuvas diminuam tanto no verão quanto, no inverno, gerando um desequilíbrio hídrico no Pantanal (MARENGO *et al.*, 2015). O uso de Modelos de Distribuição de Espécies tem ajudado a entender o impacto dessas mudanças climáticas na distribuição das espécies e auxiliar no planejamento da conservação. Com base nisso, buscamos compreender quais as previsões de possíveis áreas de ocorrência para *L. bufonius* atualmente e no futuro (2100) em diferentes cenários de mudanças climáticas.

MATERIAIS E MÉTODOS. Os registros de ocorrência da espécie foram extraídos da base de dados de Neves *et al.* (2020) e complementados pelos dados do GBIF (GBIF.org). Após isso, retiramos duplicatas e registros próximos em um raio de 5km totalizando 78 registros de ocorrência para fabricação dos modelos. Em nossos modelos, utilizamos variáveis bioclimáticas e topográficas. Dados bioclimáticos foram obtidos no *WorldClim* (FICK *et al.* 2017) que contém 19 variáveis bioclimáticas baseadas em médias mensais de precipitação e temperatura entre 1981-2010 (presente) e entre 2071-2100 (futuro). Extraímos as camadas bioclimáticas com uma resolução espacial de 30 segundos de arco e aplicamos um procedimento de seleção de variáveis. Especificamente, utilizamos a matriz de correlação par-a-par entre as camadas climáticas e realizamos uma análise de agrupamento UPGMA para identificar as variáveis bioclimáticas com os menores níveis de multicolinearidade. Assim utilizamos as seguintes variáveis: Temperatura Média Anual, Isotermalidade, Sazonalidade da Temperatura, Precipitação Anual e Sazonalidade da Precipitação. Além das variáveis climáticas também utilizamos variáveis relacionadas à topografia, como: curvatura do perfil, índice de posição topográfica e inclinação. Como não irá ocorrer grandes mudanças nas variáveis topográficas até 2100, utilizamos as mesmas variáveis para o presente e para o futuro. As variáveis bioclimáticas futuras foram baseadas nas climatologias CMIP6 com a média de três modelos de circulação geral (GCMs): GFDL-ESM4, IPSL-CM6A-LR e MRI-ESM2-0. Também, para as projeções futuras utilizamos dois cenários

(*Shared Socioeconomic Pathway-SSPs*): um cenário de estabilização (SSP 245) e um cenário crítico (SSP 585), caracterizado pelo aumento significativo dos impactos do aquecimento global. Elaboramos os Modelos de Distribuição de Espécies (MDEs), utilizando o *Ensemble of Small Models* (ESM). O ESM constrói modelos a partir de subconjuntos preditores e avalia seu desempenho utilizando métricas de validação. A média de todos os modelos dos subconjuntos é utilizada para criar um modelo de conjunto ponderado. Utilizamos três algoritmos de modelagem no ESM: redes neurais artificiais (ANN), modelos lineares generalizados (GLM) e árvores de classificação e regressão (CTA). Esses algoritmos apresentam melhor desempenho quando usados apenas com dados de presença. Para gerar pseudo-ausências, selecionamos aleatoriamente pontos dentro da área de estudo, correspondendo ao mesmo número de ocorrências reais de *L. bufonius*. Após elaborar os modelos, realizamos as previsões 100 vezes para a espécie, com amostras aleatórias diferentes representando 75% das ocorrências verdadeiras. A precisão do modelo foi verificada utilizando o índice de *Sørensen*, AUC (*Area under the ROC curve*) e *Boyce*. As análises foram realizadas no *software* R (versão 3.5.2, R Core Team 2023). Para definirmos um limite de probabilidade e converter as medidas de adequação do habitat (variando entre 0 e 1) em mapas binários de presença e ausência (0 = ausência, 1 = presença) adotamos o método da área mínima prevista (MPA, Engler *et al.*, 2004). O MPA estima uma área potencial que inclua o máximo de ocorrências verdadeiras da espécie, mantendo-a adequadamente pequena. Definimos o limite de probabilidade, extraíndo o valor de adequação do habitat para cada ocorrência observada no mapa de projeção atual e calculamos o valor correspondente ao percentil de 90%. Assim, as distribuições binárias abrangeram 90% das ocorrências reais. Após as análises, sobreposmos a área potencial encontrada em nossos modelos com a rede existente de acordo com *World Database on Protected-Areas* (WDPA; UNEP-WCMC and IUCN, 2023) e calculamos a área de distribuição potencial da espécie que está protegida dentro da Bacia do Alto Paraguai.

RESULTADOS. As métricas de avaliação apresentaram resultados satisfatórios para os modelos elaborados, refletindo sua robustez e precisão (média \pm desvio padrão: *Sørensen* = 0,7509 \pm 0,057573; AUC = 0,9796 \pm 0,010517; *Boyce* = 0,9909 \pm 0,002468). Além disso, o valor de ENS demonstra um desempenho positivo, justificando que os resultados subsequentes são derivados do modelo *Ensemble* e suas projeções. Quanto as contribuições das variáveis utilizadas, as que apresentaram maior contribuição sobre as projeções elaboradas foram: Bio 4 = 1.2334 que usou a sazonalidade da temperatura para inferir as projeções, Bio 3 = 1.2105 que usou a isothermalidade e o *slope* = 1.1423 que usou a inclinação do terreno. *Leptodactylus bufonius* apresenta forte associação com o Chaco e o Pantanal que apresentam uma sazonalidade bem delimitada, ciclos de cheias e seca e pequena inclinação do relevo. Atualmente a espécie distribui-se em uma área de 322.656,55 km², e as projeções demonstram que sua distribuição aumentará para 331.263,09 km² no cenário SSP245, e para 344.018,42 Km² em SSP585. Em SSP245, onde temos um aumento mais brando das emissões de gases do efeito estufa, a espécie mantém sua distribuição atual e avança um pouco mais sua área de ocorrência na região norte do Pantanal. Em SSP585, temos projeções mais drásticas quanto a liberação de gases de efeito estufa, e podemos observar que mesmo com o aumento das temperaturas e a diminuição das chuvas, a espécie aumenta sua área de ocorrência tanto no Chaco Úmido quanto no Pantanal e borda do Cerrado. Atualmente, 8.62% da área potencial de *L. bufonius* está dentro de alguma Unidade de Conservação e nos cenários futuros essa área protegida será de 8.38% para SSP245 e 7.95% para SSP585.

CONSIDERAÇÕES FINAIS. Com base na análise das projeções obtidas e nas áreas de ocorrência atual da espécie, consideramos que a diminuição de precipitação e temperatura nas áreas correspondentes da Bacia do Alto Paraguai sejam favoráveis para *L. bufonius*, que poderá ter um local adequado com suas necessidades: terrenos planos, com vegetação rasteira e com um período de chuva necessário apenas para seu período de reprodução e desenvolvimento de filhotes.

PALAVRAS-CHAVE: Pantanal. Modelagem de nicho. Conservação

AGRADECIMENTOS: Agradecemos à Fundação Ecotrópica, a Foundation The Rufford e a CNPq pelo apoio no desenvolvimento desta pesquisa.

Referências

BOULENGER, G. A. List of reptiles and batrachians collected by Dr. J. Bohls near Asuncion, Paraguay. **Annals and Magazine of Natural History**, v. 13 (76), p. 342–348, Out. 1894. DOI 10.1080/00222939408677709.

DURÉ, M.; KEHR, A. Influence of microhabitat on the trophic ecology of two leptodactylids from northeastern Argentina. **Herpetológica**, v. 60, n. 3, p. 295-303, Set. 2004.

FAGGIONI, G.; ZAMUDIO, K.; SOUZA, F.; PRADO, C. Isolation and characterization of microsatellites markers for two South American frogs (*Leptodactylus bufonius* and *L. chaquensis*) using next generation sequencing. **Amphibia-reptilia**, v. 35, n. 4, p. 405-412, Nov. 2014.

FICK, S.E.; HIJMANS, R.J. WorldClim 2: new 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology**, v. 37, n. 12, p. 4302-4315, Mai. 2017. DOI: [10.1002/joc.5086](https://doi.org/10.1002/joc.5086). Disponível em: <https://doi.org/10.1002/joc.5086>. Acesso em: 30 jun. 2024.

MARENGO, J.; OLIVEIRA, G.; ALVES, L. **Climate change scenarios in the Pantanal**. v. 37, p. 227-238, Jul. 2015. DOI: [10.1007/698_2015_357](https://doi.org/10.1007/698_2015_357). Disponível em: https://doi.org/10.1007/698_2015_357. Acesso em: 30 jun. 2024.

NEVES, M.O.; CABRAL, H.; PEDROZO, M.; FERREIRA, V.L.; MOURA, M.R.; SANTANA, D.J. Dataset of occurrences and ecological traits of amphibians from Upper Paraguay River Basin, central South America. **Nature Conservation**, v. 41, p. 71–89, Set. 2020. DOI 10.3897/natureconservation.41.54265. Disponível em: 31 jun. 2024.

SEMLITSCH, R. Principles for Management of Aquatic-Breeding Amphibians. **Journal of Wildlife Management**, v. 64, n. 3, p. 615-631. Jul. 2020. DOI [10.2307/3802732](https://doi.org/10.2307/3802732). Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/i293828>. Acesso em: 31 jun. 2024.

SCHNEIDER, R.; FERRO, J.; REINKO, I.; BOERIS, J.; CARDOZO, D.; BALDO, D. Sex chromosomes in the Vizcacheras' White-lipped frog, *Leptodactylus bufonius* (Anura, Leptodactylidae). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 93, n. 2, 2021. DOI Se20190426. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0001-3765202120190426>. Acesso em: 31 jul. 2024.

SILVA-ALVES, V.D.; NEVES, M.O.; SEBA, M.F.R.; SANTOS-FILHO, M.; SILVA D.J. Amphibian Diversity: where everything starts to flood, Cáceres municipality, North Pantanal, central. **Pap. Avulsos Zool**, v. 63, 2023. DOI e202363033. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/1807-0205/2023.63.033>. Acesso em: 31 jul. 2024.

ZAMBERLETTI, P., ZAFFARONI, M., ACCATINO, F., CREED, I., & MICHELE, C. Connectivity among wetlands matters for vulnerable amphibian populations in wetlandscapes. **Ecological Modelling**, v. 384. P. 119-127, Set. 2018. DOI 10.1016/J.ECOLMODEL.2018.05.008 Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.ECOLMODEL.2018.05.008>. Acesso em: 31 jun. 2024.